

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Ověření možnosti aplikace jemnozrnné alkalicky
aktivované hmoty ve stavebnictví

Verifying the possibility of application of fine-grained
alkali-activated material in construction

Student:

Bc. Petr Závorský

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jana Boháčová

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Petr Závorský

Studijní program:

N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma:

Ověření možnosti aplikace jemnozrnné alkalicky aktivované hmoty ve stavebnictví

Verifying the possibility of application of fine-grained alkali-activated material in construction

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je ověření vybraných vlastností jemnozrnné alkalicky aktivované hmoty na bázi velmi jemně mleté granulované vysokopepční strusky a možnosti jejího uplatnění ve vybrané oblasti stavebnictví v závislosti na dosažených výsledcích.

Předmětem diplomové práce je příprava a ověření fyzikálně-mechanických a trvanlivostních vlastností hmoty vhodnými metodami s ohledem na zamýšlené použití.

Seznam doporučené odborné literatury:

DAVIDOVITS, J. *Geopolymer: chemistry*. 2nd ed. Saint-Quentin: Institute Géopolymere, 2008, 587 s. ISBN 29-514-8201-9.

PROVIS, J., VAN DEVENTER, J. S. *Geopolymers: structure, processing, properties and industrial applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009, xiv, 454 pages. Woodhead Publishing in materials. ISBN 14-398-0970-4.

RAMACHANDRAN, V. *Handbook of thermal analysis of construction materials*. Norwich, N.Y.: Noyes Publications/William Andrew Pub., c2003, xxii, 680 p. ISBN 08-155-1487-5.

ČESKÁ ROZVOJOVÁ AGENTURA, O.P.S. *Současný stav výzkumu v oblasti geopolymérů*. 2005, 285 s. ČSN EN 13888. *Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky - Definice a specifikace*. Český normalizační institut, 2003.

ČSN EN 13892. *Metody zkoušení potěrových materiálů*. Český normalizační institut, 2003.

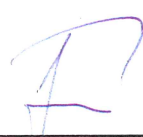
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Boháčová**

Datum zadání: 28.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015




Ing. Libor Židek
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30. 11. 2015

.....

Petr Závorský

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 30. 11. 2015

.....

Petr Závorský

Anotace

ZÁVRSKÝ, P. *Ověření možnosti aplikace jemnozrnné alkalicky aktivované hmoty ve stavebnictví. Diplomová práce.* VŠB – Technická univerzita Ostrava. Ostrava, 2015, 100 s.

Alkalicky aktivované systémy se řadí mezi relativně nové typy materiálů ze skupiny anorganických pojiv, jež vznikají alkalickou aktivací latentně hydraulických látek.

Cílem diplomové práce je ověření vybraných vlastností jemnozrnné alkalicky aktivované hmoty na bázi velmi jemně mleté granulované vysokopecní strusky a na základě zjištěných vlastností zhodnocení možnosti jejího použití pro výrobu omítek, spárovacích hmot a případných dalších aplikací.

V počáteční fázi experimentu byla sledována zpracovatelnost, smršťení a přidržnost nanesených vrstev, tato část vyloučila nežádoucí záměsi. Další etapa výzkumu se týkala stanovení základních fyzikálně-mechanických a trvanlivostních vlastností, které byly v práci dále vyhodnoceny. Poslední etapou bylo vyhodnocení použitelnosti alkalicky aktivovaných omítek a alkalicky aktivovaných spárovacích hmot.

Na základě zjištěných vlastností připravených směsí je možné tyto materiály vzhledem k relativně vysokým pevnostem v tahu i tlaku doporučit pro aplikace jako opravné hmoty, reprofilační malty, soklové omítky či malty pro spárování kamenného obkladu.

Práce prokázala, že alkalicky aktivované systémy mají potenciál i v oblasti spárovacích hmot, zde je však potřebná další úprava receptury jemnozrnné hmoty tak, aby bylo minimalizováno smršťení testovaného kompozitu.

Klíčová slova: alkalicky aktivovaný, vysokopecní granulovaná struska, fosforečnan sodný, sacharóza, aktivátor, omítka, malta, spárovací hmota, aplikace.

Abstract

ZÁVRSKÝ, P. *Verifying the possibility of application of fine-grained alkali-activated material in construction. Diploma thesis.* VŠB – Technická univerzita Ostrava. Ostrava, 2015, 100 pp

Alkali activated systems belong to the relatively new types of materials of the group consisting of inorganic binders, which are formed by alkali activation of latent hydraulic substances.

The aim of this thesis is to verify selected properties of fine-grained alkali activated materials based on finely ground granulated blast furnace slag and based on characteristics of assessing the feasibility of its use for the production of plasters, grouts and any other applications.

At the beginning of the experiment, processability, shrinkage and adhesion of applied layers was observed. In next phase of the research, the determination of basic physical-mechanical and durability properties were evaluated. The last stage was to evaluate the applicability of alkali-activated plasters and grouts.

Based on the findings of properties, mixtures prepared of these materials can be due to the relatively high tensile and pressure recommended for applications such as repair materials, repair mortar, socle plaster or stone grouting mortar.

Work has shown that alkali activated systems have potential in grouts, there is however a need for further adjustment of the fine-grained material recipe, to minimize shrinkage of the composite.

Keywords: alkali-activated, blast furnace slag, sodium phosphate, sucrose, activator, plaster, mortar, grout, applications.

Obsah

Seznam použitého značení:	11
1. Úvod	12
2. Alkalicky aktivované materiály	13
2.1 Proces alkalické aktivace	13
2.2 Alkalicky aktivované strusky	14
2.3 Alkalicky aktivované popílký	15
2.4 Alkalicky aktivované metakaoliny	15
3. Suroviny pro výrobu alkalicky aktivovaných materiálů	16
3.1 Elektrárenský popílek.....	17
3.1.1 Vysokoteplotní popílek	18
3.1.2 Fluidní popílek	18
3.2 Strusky.....	18
3.2.1 Vysokopeční granulovaná struska.....	19
3.2.2 Ocelářenská struska.....	19
3.3 Metakaolin.....	20
3.4 Mikrosilika	21
3.5 Aktivátory.....	21
3.5.1 Hydroxidy.....	22
3.5.2 Uhličitany	23
3.5.3 Sodné vodní sklo	23
4. Povrchové úpravy.....	25
4.1 Technické požadavky povrchových úprav	25
4.2 Malty	26
4.2.1 Rozdělení malt pro stavební účely	27
4.2.2 Obyčejné malty	28
4.2.3 Vylehčené malty.....	28

4.2.4 Spárovací malty	28
4.3 Malty pro vnější a vnitřní omítky	28
4.3.1 Rozdělení malt pro vnější a vnitřní použití	29
4.3.2 Omítky	29
5. Praktická část	32
5.1 Vstupní suroviny	32
5.1.1 Vysokopeční granulovaná struska	32
5.1.2 Aktivátor	33
5.1.3 Křemenný písek	33
5.1.4 Voda	33
5.1.5 Sacharóza	33
5.1.6 Fosforečnan sodný	33
5.2 Metodika přípravy a zkoušení	34
5.2.1 Míchání směsí	34
5.2.2 Zhotovení těles pro zkoušení	34
5.2.3 Uložení zkušebních těles	35
5.2.4 Stanovení konzistence	35
5.2.5 Stanovení dob tuhnutí	36
5.2.6 Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty	37
5.2.7 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě	37
5.2.8 Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty	38
5.2.9 Zkouška mrazuvzdornosti	40
5.2.10 Stanovení přídržnosti	41
5.2.11 Stanovení zrnitosti	42
5.2.12 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu	43
5.2.13 Stanovení pevnosti v tlaku	44
5.2.14 Stanovení zdánlivé pórovitosti	45

5.2.15 Stanovení zdánlivé nasákavosti.....	45
5.2.16 Stanovení zdánlivé hustoty.....	46
5.2.17 Stanovení měrné hmotnosti.....	46
5.2.18 Stanovení skutečné pórovitosti.....	47
5.2.19 Stanovení otěruvzdornosti.....	47
5.2.20 Stanovení smrštění	48
5.2.21 Stanovení nasákavosti	49
5.2.22 Stanovení spotřeby	49
5.3 Alkalicky aktivovaná malta pro vnější či vnitřní omítku.....	50
5.4 Vyhodnocení zkoušek alkalicky aktivované malty pro vnější či vnitřní omítky	52
5.4.1 Stanovení zrnitosti.....	55
5.4.2 Konzistence čerstvých směsí.....	56
5.4.3 Stanovení dob tuhnutí.....	57
5.4.4 Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty	58
5.4.5 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě	59
5.4.6 Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty	60
5.4.7 Mrazuvzdornost.....	61
5.4.8 Stanovení přídržnosti.....	62
5.4.9 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu	63
5.4.10 Stanovení pevnosti v tlaku	64
5.4.11 Stanovení zdánlivé pórovitosti	66
5.4.12 Stanovení nasákavosti	67
5.4.13 Stanovení zdánlivé hustoty.....	67
5.4.14 Stanovení měrné hmotnosti	69
5.4.15 Stanovení skutečné pórovitosti.....	69
5.5. Alkalicky aktivovaná spárovací hmota	70
5.6 Vyhodnocení vlastností alkalicky aktivované spárovací hmoty	71

5.6.1 Stanovení zrnitosti.....	77
5.6.2 Základní vlastnosti vybrané spárovací hmoty	78
5.6.3 Stanovení otěruvzdornosti.....	79
5.6.4 Stanovení pevnosti v ohybu a tlaku.....	80
5.6.5 Stanovení smrštění	82
5.6.6 Stanovení nasákavosti	83
5.6.7 Stanovení spotřeby	84
5.6.8 Stanovení mrazuvzdornosti	86
6. Závěr.....	87
6.1 Vyhodnocení výsledků alkalicky aktivované omítky	88
6.2 Vyhodnocení výsledků alkalicky aktivované spárovací hmoty	90
8. Literatura	92
9. Seznam obrázků	97
10. Seznam tabulek	99
11. Seznam příloh.....	100

Seznam použitého značení:

DVS – B	Směs na bázi draselného vodního skla bez přísady
DVS – C	Směs na bázi draselného vodního skla s přísadou sacharózy
MK	Směs na bázi metakřemičitanu
Ms	Silikátový modul
Mz	Modul zásaditosti
NA – B	Směs na bázi sodného vodního skla bez přísady
NA – C	Směs na bázi sodného vodního skla s přísadou sacharózy
NA – S	Spárovací hmota na bázi sodného vodního skla
NV	Nasákavost v %
PZ	Zdánlivá pórovitost v %
ZH	Zdánlivá hustota v kg/m^3

1. Úvod

Dnešní doba se vyznačuje prudkým rozvojem nových technologií a nových materiálů. V souladu s tímto se však také zvyšují požadavky na maximalizaci využití druhotných surovin, jež byly ještě v nedávné době považovány za odpadní produkty nevhodné pro další zpracování. Mezi tyto produkty můžeme zařadit především vysokopecní granulovanou strusku, která je v současnosti velmi žádanou komoditou v cementářském průmyslu.

Alkalicky aktivované systémy se řadí mezi relativně nové typy materiálů ze skupiny anorganických pojiv, jež vznikají alkalickou aktivací latentně hydraulických látek nebo pucolánů. Latentně hydraulické látky jsou zastoupeny především již výše zmíněnou vysokopecní granulovanou struskou, dále se sem řadí pucolány, nejčastěji ve formě elektrárenských popílků a metakaolinu. Výhodami těchto systémů jsou vlastnosti připravených kompozitů, jež často předčí tradiční materiály na cementové bázi. Nové materiály jsou však v závislosti na vstupních surovinách a podmínkách přípravy vysoce variabilní a pro dosažení udržitelné kvality výstupů je nutno provést řadu podrobných studií.

Cílem této diplomové práce je ověření vybraných vlastností jemnozrnné alkalicky aktivované hmoty na bázi velmi jemně mleté granulované vysokopecní strusky a vyhodnocení jejího možného uplatnění ve vybrané oblasti stavebnictví v závislosti na dosažených výsledcích.

V experimentální části byla cílem příprava alkalicky aktivované omítky pro vnitřní a vnější použití a alkalicky aktivované spárovací hmoty. První část experimentu spočívala v nanášení alkalicky aktivovaného materiálu na zdící prvek Ytong, zde bylo pozorováno spolupůsobení obou materiálů, a to zejména smrštění nanesené hmoty a její přídržnost k podkladu. Druhá etapa zkoušení proběhla na již vybraných vzorcích alkalicky aktivovaných hmot, přičemž se výzkum zaměřil na základní fyzikálně-mechanické a trvanlivostní vlastnosti. Poslední fáze je věnována vyhodnocení naměřených výsledků a hodnocení použitelnosti připravených směsí v jednotlivých oblastech stavebnictví.

Při výrobě hmot byly použity jako základní složky kompozitů vysokopecní granulovaná struska aktivovaná použitím metakřemičitanu disodného, nebo sodného, případně draselného vodního skla. Plnivem byl křemenný písek frakce 0/1 mm a při výrobě spárovací hmoty byl použit křemenný písek frakce 0,1 – 0,3 mm. Jako retardéry tuhnutí byly testovány fosforečnan sodný a sacharóza ve formě potravinářského cukru.

Diplomová práce hodnotí možnosti uplatnění připravených alkalicky aktivovaných materiálů ve vybrané oblasti stavebnictví v závislosti na dosažených výsledcích.

2. Alkalicky aktivované materiály

Alkalicky aktivované systémy představují pro současné stavitelství relativně nový typ materiálů. Jsou to anorganické kompozity syntetizované alkalickou aktivací vhodných surovin. Dle struktury se jedná o materiály na rozhraní skelných či keramických materiálů a klasických hydratovaných anorganických pojiv, jejichž přesná struktura dosud nebyla zcela objasněna. Značí se velkým ekologickým a energetickým potenciálem. [31, 46]

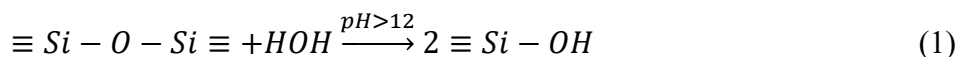
Pro přípravu alkalicky aktivovaných systémů se používají z velké části látky odpadního charakteru. Nejčastěji jsou alkalicky aktivovány vysokopecní strusky z metalurgických procesů a dále také elektrárenské popílků. Mezi další materiály, jež jsou k alkalické aktivaci používány, můžeme zařadit pucolány přírodního (tufy, tufity, křemelina, diatomit) nebo umělého charakteru (metakaoliny, kalcinované břidlice). Alkalická reakce je vyvolána použitím vhodného alkalického aktivátoru, nejčastěji jsou používány hydroxidy a vodní skla. Výhoda těchto alternativních pojiv, kromě zpracování druhotných surovin, spočívá v tom, že oproti materiálům na bázi cementu není nutný energeticky náročný a značně neekologický výpal slínku. [31, 49]

2.1 Proces alkalické aktivace

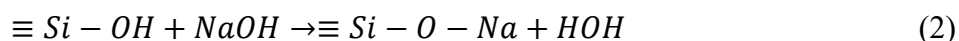
Alkalická aktivace alumino-silikátových materiálů představuje velmi složitý proces, který nebyl dosud zcela objasněn. Alkalickou aktivaci můžeme rozdělit do několika částí. První fáze je tvořena rozpouštěním vstupních surovin, tedy rozrušování původní struktury vstupních surovin v silně alkalickém prostředí. Toto rozrušování nastává za $\text{pH} > 12$. Následuje difuze, kdy se částice rozptylují v prostoru a poslední fází je polykondenzace, která probíhá za vzniku gelu a později dochází ke vzniku pevné fáze. [23]

Proces hydratace začíná rozrušením kovalentních vazeb Si-O-Si a Al-O-Si (1) v důsledku silně alkalického prostředí. Tento prvotní proces, jak se předpokládá, je závislý na mnoha faktorech. Průzkumy ukazují, že vlastnosti konečného produktu jsou závislé na typu použitého aktivátoru, který rozpouští Si a Al, a jeho koncentraci. Na rozpustnost má vliv také

velikost částic vstupních surovin. Platí, že čím jemnější materiál, tím se lépe rozpouští. Alkalický aktivátor se podílí na výsledných pevnostech a vzniku hydratačního tepla. Výsledky ukazují, že použití alkalického aktivátoru NaOH a KOH ovlivňuje rozpustnost aluminosilikátu. Lepší rozpustnosti dosahují materiály aktivované pomocí NaOH, avšak produkty aktivované pomocí KOH dosahují vyšších pevností. Z tohoto hlediska lze usuzovat, že množství rozpuštěného Si a Al nemá vliv na konečné pevnosti produktů. [18, 32]



Dle výzkumů nastává v další fázi neutralizace silanolátové skupiny pomocí alkalického aktivátoru (2, 3). Dochází ke vzniku C – S – H, C – A – H fází a také vzniku nových fází, které lze obecně zapsat $(Na, K)_n \{-(Si - O)_z - Al - O\}_n \cdot nH_2O$. [46]



V průběhu rozpouštění kovalentních vazeb dochází ke vzniku gelu. Vzniklý gel se tvoří na povrchu částic a postupně difunduje do prostoru mezi zrny, kde se postupně sráží a vznikají nové pevné fáze. Tuhnutí gelu způsobuje vytěsňování vody z výsledné struktury materiálu. Při styku s vnějším prostředím se mohou tvořit na povrchu výkvěty uhličitánů alkalických kovů a jejich hydrátů. [23]

Výzkumy ukázaly, že proces alkalické aktivace lze ovlivnit přidávkem solí. Tyto soli působí jako retardéry tuhnutí. Mezi retardéry tuhnutí se řadí fosforečnany, které jsou nejefektivnější při průběhu tuhnutí gelu. Mimo jiné se mezi urychlovače tuhnutí řadí rovněž uhličitany, které urychlují rozklad Si a zvyšují jeho obsah. Produkty alkalické aktivace jsou látky amorfnní, částečně amorfnní nebo krystalické produkty. [32]

2.2 Alkalicky aktivované strusky

Vysokopecní granulovaná struska je latentně hydraulický materiál, který po smíchání s vodou netuhne ani netvrdne. Při smíchání s vodou a přidáním určitého množství aktivátoru vykazují tyto materiály hydraulické vlastnosti. Použitím vhodného alkalického aktivátoru

dochází během desítek minut k naleptání povrchu zrn a koagulaci hydratačních produktů v prostoru mezi částicemi strusky. [32]

Produkty hydratace strusky se tvoří v prostoru mezi zrny vyplněné alkalickým roztokem. Hlavním produktem hydratace u vysokopecní granulované strusky lze označit C-A-S-H gel, který má se své struktuře zabudované hlinitanové tetraedry. [32]

Proces hydratace alkalické aktivace vysokopecní granulované strusky je exotermní. Alkalický aktivátor způsobuje uvolňování tepla a urychlení hydratace. [32]

2.3 Alkalicky aktivované popílků

Obecně jsou nám známy dva druhy popílků. Popílek klasický (popílek typu F), který obsahuje menší podíl CaO do 3 % a popílek fluidní (popílek typu C), který obsahuje vyšší podíl CaO do 20 %. Alkalická reakce popílků závisí na množství amorfnní skelné fáze, která ovlivňuje jeho reaktivitu. Popílek typu C má alkalický charakter a je reaktivní již po smíchání s vodou, kdy hydratuje podobně jako portlandský cement. [42, 49, 50]

Výsledkem alkalické aktivace popílku je amorfnní porézní materiál, který obsahuje celkovou pórovitost dle podmínek přípravy okolo 20 – 40 %. Takto vzniklý materiál obsahuje především nano- a mikropóry. Obsahují fáze (N, K) – A – S – H fáze. [49]

2.4 Alkalicky aktivované metakaoliny

Metakaolín se uplatnil ve stavebnictví především při výrobě betonu, kdy působí pozitivně na jeho konečné vlastnosti. Zvyšuje jeho pevnosti, prodlužuje trvanlivost a pomáhá ke snížení jeho propustnosti. Příprava alkalicky aktivovaných metakaolínů je energeticky náročná z důvodu nutné kalcinace kaolinu. [50]

Alkalicky aktivované materiály na bázi metakaolínů můžeme nazvat „geopolymery“ pokud striktně dodržíme pravidla prof. Davidovitse. [46, 47]

V průběhu alkalické aktivace metakaolinu dochází k polykondenzačním reakcím, které nelze jednoduše popsat. Velice zjednodušeně lze říct, že reakcí aluminosilikátu v alkalickém prostředí vznikají silanolátové vazby Si – O – Al – O. Postupně se tvoří monomery

na povrchu aluminosilikátových částic v přesyceném roztoku, což vede k tvorbě $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ a $[\text{Si}(\text{OH})_3]^-$ prekurzorů gelu. Tento gel difunduje do prostorů mezi zrny a postupně se sráží, čímž dochází ke vzniku nových fází. [32]

Produkty alkalické aktivace metakaolinů mohou potenciálně sloužit k restaurování historických památek, výrobě různých past, pro výrobu umělého kamene a jiné. [31]

3. Suroviny pro výrobu alkalicky aktivovaných materiálů

Pro výrobu alkalicky aktivovaných materiálů jsou vhodné druhotné suroviny z různých průmyslových odvětví. Mezi tyto materiály se řadí vysokopecní granulované strusky a popílky. Použití surovin odpadního charakteru představuje splnění požadavku na recyklaci materiálů, problémem je však zajištění dostatečné kvality a stálosti jejich složení. [2, 36]

Druhotné suroviny jsou ve většině případů produkovány energetickým průmyslem. Energetika tvoří významnou součást hospodářství každého státu. Dělí se na odvětví teplárenství, uhelného průmyslu, elektroenergetiky, aj. Především energetický průmysl vyprodukuje značné množství odpadů, jejichž složení závisí na druhu technologie výroby energie. Elektrická energie se vyrábí spalováním fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn). Na území ČR se vyprodukuje téměř 10 miliónů tun odpadu, z toho se využívá cca jen 20 %, zbytek se ukládá na skládkách. Důvodem je nedostatek technologií, které by zajistily zhomogenizování směsi se stejným složením oxidů a také fakt, že se jeho producentům stále ještě vyplácí ukládat odpady na skládkách. [29]

V současné době většina elektráren ukládá popel v suché nebo zvlhčené formě jako aglomeráty (popel s přídavkem 20 % vody) nebo stabilizátory (20 % vody + 2 – 5 % hydroxidu vápenatého + 2 – 5 % síranu draselného). Tím jsou vytvořeny podmínky pro vznik pucolánové reakce. [33]

Alkalickou aktivaci lze provést i z přírodních upravených surovin. Jedná se zejména o metakaolin a lupky. Materiály vhodné pro vytvoření kompozitu vykazují latentně hydraulické vlastnosti a mají určitý podíl aktivních oxidů SiO_2 a Al_2O_3 , které potřebují k vybuzení hydraulických vlastností určité množství alkalického aktivátoru. [48]

Mezi suroviny, u kterých lze nastartovat hydratační vlastnosti pomocí alkalické aktivace, se řadí:

- Vysokopecní granulovaná struska,
- Ocelářenská struska,
- Elektrářenské popílky:
 - Klasický popílek,
 - Fluidní popílek,
- Mikrosilika,
- Metakaolin, horminy bohaté na kaolinit.

V následujících podkapitolách jsou detailněji popsány vybrané suroviny, využívané pro alkalickou aktivaci. Rovněž jsou zde popsány nejčastěji používané aktivátory potřebné k vybuzení hydraulických vlastností.

3.1 Elektrářenský popílek

Popílek je heterogenní, technogenní materiál, vzniklý ze spalování paliv. Popílky vznikají ze spalování tuhých odpadů při výrobě elektrické energie v tepelných elektrárnách. Elektrářenské popílky můžeme rozdělit podle způsobu a technologie spalování na popílky vysokoteplotní, které vznikají při klasickém způsobu výroby elektrické energie a popílky fluidní, které vznikají při fluidním spalování za atmosférického tlaku. [44]

Popílky vykazují různé chemické, mineralogické, fyzikální i granulometrické složení, a to podle druhu spalovaného uhlí. Chemické vlastnosti popílků jsou závislé na způsobu spalování, způsobu těžby a těžební lokalitě. Při spalování jsou mineralogické složky vystaveny vysokým teplotám, které prochází oxidačním či redukčním prostředím. Z toho vyplývá, že vlastnosti popílků jsou závislé jak na druhu tuhého paliva, tak i způsobu spalování. [49]

Vlivem proměnlivého chemického složení je nutné ověřovat kvalitu a složení popílků pro jejich další možné použití. [20, 41]

Granulometrie popílků je závislá na jemnosti mletí vstupních surovin a na způsobu odlučování. Částice popílků jsou duté, zpěněné či plné. Popílek se skládá z větší části z jemných částíček křemičité skloviny v zrnitosti od 0,001 – 0,2 mm. Podíl zrn o velikosti nad 0,2 mm je minimální. [49]

3.1.1 Vysokoteplotní popílek

Vysokoteplotní popílky vznikají při spalování černého nebo hnědého uhlí při teplotách 1400 – 1600 °C. Popílky jsou unášeny proudem spalin ze spalovací komory a zachycovány z kouřových plynů v elektrostatických nebo mechanických odlučovačích elektrárn nebo tepláren. V dnešní době je snaha o co nejúčinnější zachycení částic popílků z důvodu ochrany životního prostředí. [32]

Popílky z klasického spalování se vyznačují obsahem β -křemene, mullitu ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) a rovněž skelné fáze. Jedná se o jemnozrnný prach, který je složený z roztavitelných skelných částic kulovitého tvaru s hladkým povrhem. Podíl skelné fáze je vyšší než 50 % a výrazně ovlivňuje reaktivitu popílku. [29, 49]

Popílek se skládá ze tří základních oxidů, oxidu křemičitého (SiO_2), oxidu železitého (Fe_2O_3) a oxidu hlinitého (Al_2O_3). V jeho složení dále nacházíme oxid vápenatý (CaO) a oxid sírový (SO_3), jejichž množství je však poměrně nízké. Popílky mimo uvedených oxidů obsahují taktéž množství nespálitelných zbytků paliva ve formě anorganických příměsí. [19]

3.1.2 Fluidní popílek

Fluidní spalování tuhého mletého paliva s přísadami vápence, případně dolomitu za atmosférického tlaku probíhá při teplotě 850 °C. Proudem spalin unášený popílek obsahuje směs původního nespáleného paliva, nezreagovaného činidla (vápence), síranu vápenatého a produktů reakce s vápnem. Vzhledem k nižší teplotě spalování se v popílku nachází nezreagovaný CaO , který je přítomen ve formě měkce páleného vápna a je reaktivní. Fluidní popílky se taktéž vyznačují menším množstvím taveniny, tedy skelné fáze. [29]

3.2 Strusky

Strusky se řadí k hutnickým odpadům produkovaným při výrobě surového železa, či výrobě ocele a jedná se o technogenní materiál, jehož konečná struktura je závislá na rychlosti ochlazení taveniny. Patří mezi druhotné suroviny, které jsou vedlejším produktem termických a spalovacích procesů. Při výrobě surového železa je struska tvořena zejména struskotvornými přísadami, např. vápencem (CaCO_3), dolomitickým vápencem $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$,

popelem koksu, korodovanou vyzdívkou a dalšími nečistotami produkovanými z výroby železa a oceli. [50]

Na základě proměnlivého chemického složení bývá vysokopecní granulovaná struska posuzována zásadním kritériem, a to modulem zásaditosti M_z (4). [49]

$$M_z = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (4)$$

Je-li modul zásaditosti $M_z < 1$, jedná se o strusky kyselé, pokud však $M_z > 1$, jedná se o strusky zásadité. [49]

Zásadité strusky obsahují minerály gehlenit ($CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$), belit ($\beta\text{-}2CaO \cdot SiO_2$) a další. Při pomalém ochlazení hrozí nebezpečí silikátového rozpadu strusky, což je způsobeno modifikačními přeměnami mezi $\beta\text{-}C_2S$ a $\gamma\text{-}C_2S$, které jsou provázeny objemovými změnami. Nebezpečí rozpadu vede k zhoršení fyzikálně-mechanických vlastností. [22]

3.2.1 Vysokopecní granulovaná struska

Vysokopecní granulovaná struska je latentně hydraulická látka, která vzniká rychlým ochlazením tekoucí taveniny strusky při odpichu. Pokud je struska rychle zchlazena, nedojde u ní ke krystalizaci, stabilizuje se její sklovitý charakter. Rychlé ochlazení a zachování skelné fáze je významné z hlediska latentně hydraulických vlastností. [50]

Chemické složení strusky je proměnlivé, neboť způsob výroby se liší složením a množstvím jednotlivých zpracovaných surovin, druhem použitého paliva a typem vyráběného železa. Obecně ji však tvoří oxidy CaO 35-38 %, SiO_2 34-38 %, Al_2O_3 6-9 %, MgO 10-14 %, MnO 0,5-2 %, $FeO + Fe_2O_3$ 0,5-1 %, BaO , TiO_2), dále nežádoucí sulfidy (CaS , MgS , BaS , MnS , Na_2S , K_2S) a také nitridy a karbonitridy. Z mineralogického hlediska strusky obsahují mnoho minerálů ze skupiny pyroxenů ($MeO \cdot SiO_2$), skupinu gehlenitu a mellitu a skupinu olivínů, jejímž představitelem je ortosilikát $2MeO \cdot SiO_2$. [41, 50]

3.2.2 Ocelářská struska

Ocelářská struska je vedlejším produktem výroby oceli v Siemens – Martinských pecích, produkovaná převážně v České republice. Ocelářská struska je většinou vytvářena

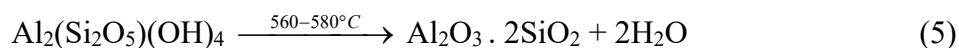
v kyslíkových konvertorech a v elektrických obloukových pecích. Chemické složení se liší zejména vlivem různých možností technologie výroby oceli. [41]

V ocelářských struskách jsou zastoupeny jak oxidy, tak i křemičitany, ferrity, hlinitany a další minerály. Mezi oxidy se jedná zejména o CaO, SiO₂, Al₂O₃ a MgO₂, dále minerály olivín, mervinit, C₃S, C₂S, C₂F, gehlenit, C₄AF a cristobalit. Přítomnost C₃S (alit - 3CaO.SiO₂), C₂S (belit- 2CaO.SiO₂) a volného vápna přispívají k hydraulickým vlastnostem strusky. Tyto strusky jsou charakteristické objemovou nestálostí, rozpadavostí a obsahem volného CaO a MgO. [50]

Ocelářské strusky a jejich latentně hydraulické vlastnosti v současnosti nejsou využívány. [50]

3.3 Metakaolin

Metakaolin je cíleně vyráběný produkt z přírodních surovin, mezi nimiž jsou jílovité horniny obsahující kaolinit. Výroba spočívá v kalcinaci kaolinitu při teplotě 560 °C – 580 °C, kdy vznikne výsledný materiál (5). [21]



Teplné zpracování kaolinitu má vliv na konečné vlastnosti metakaolinu, a to zejména na jeho pucolánové vlastnosti, které jsou důležité pro reakci s hydroxidem vápenatým. Výzkumy ukázaly, že teplota výpalu nesmí překročit teplotu mullitizace, tedy 1100 °C u čistého kaolinu, jinak by vznikla amorfní fáze a stabilní krystalické sloučeniny – mullit a tridymit, které nereagují s alkalickými aktivátory. Dalším faktem je také to, že kaolin se vyznačuje větším množstvím nečistot, které snižují teplotu výpalu, proto je optimální teplota kalcinace stanovena v rozmezí od 700 °C – 750 °C, kdy takto vypálené metakaoliny obsahují v aktivní formě Al₂O₃ a SiO₂. Teplota u znečištěného kaolinu nesmí překročit teplotu 900 °C, jinak by nevykazoval materiál pucolánové vlastnosti. [21, 43]

Metakaolin se vyznačuje vysokým měrným povrchem (od 2 000 do 20 000 m².kg⁻¹), který je vhodný pro snížení propustnosti betonové matrice a zvýšení odolnosti betonu vůči karbonataci, kyselinám a chloridům. Metakaolin se označuje za vysoce reaktivní materiál s pucolánovými vlastnostmi a velikostí zrn pohybující se v rozmezí od 0,5 – 20 μm. [43]

3.4 Mikrosilika

Mikrosilika, neboli také křemičitý úlet vzniká při výrobě křemíku, ferrosilicia a dalších slitin křemíku. Obsahuje až 98 % amorfního SiO_2 ve tvaru kulovitých zrn o průměru menším než 0,001 mm. Jedná se tedy o velmi jemný prášek, který je černý, šedý, šedobílý či červenošedý. Částice zrn jsou sférické, vyznačují se průměrem okolo 0,15 μm a tvoří často shluky. Mikrosilika se vyznačuje mimořádně velkým měrným povrchem, okolo 20 000 – 60 000 $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ a dobrými pucolánovými vlastnostmi. Velmi rychle se rozpouští v roztoku s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a má dobré hydratační vlastnosti. [45]

3.5 Aktivátory

Aktivátor je alkalický roztok, který rozpouští skelné fáze. Alkalický aktivátor je budič, který má za úkol nastartovat hydratační procesy systému a docílit toho, aby došlo v alkalicky aktivovaném materiálu k jeho tuhnutí a ztvrdnutí. [2, 50]

Nejběžnějším aktivátorem latentní hydraulicity ve stavebnictví je $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pokud hydroxid vápenatý dokáže určité látky aktivovat, pak můžeme tyto materiály označit za pucolány. Existují i případy, kdy je hydroxid vápenatý neúčinný, a to zejména když látky vykazují SiO_2 a Al_2O_3 ve stabilních formách. Vybuzení hydraulických vlastností těchto látek dokážou rozpustné sloučeniny alkalických kovů, mezi něž patří uhličitany, hlinitany a křemičitany. [2, 50]

Alkalické aktivátory jsou nejdražší surovinou při výrobě alkalicky aktivovaných materiálů. Jejich použití nese bezpečnostní a zdravotní rizika, proto práce s těmito roztoky musí být opatrná, neboť se jedná o žíraviny. [2]

Mezi nejčastěji používané aktivátory se řadí:

- **Hydroxidy:**

- Hydroxid sodný,
- Hydroxid draselný,
- Hydroxid vápenatý.

- **Uhličitany:**

- Uhličitan sodný,
- Uhličitan draselný.

- **Vodní skla:**
 - Draselné vodní sklo,
 - Sodné vodní sklo,
 - Lithné vodní sklo.
- **Metakřemičitany.**

Níže v podkapitolách jsou detailněji popsány vybrané typy alkalických aktivátorů.

3.5.1 Hydroxidy

Hydroxidy jsou tříprvkové sloučeniny obsahující hydroxylové anionty OH^- vázané na kationt kovu. Jedná se o silně zásadité anorganické látky. Hydroxidy se používají jako aktivátory, ve většině případů se však používají k úpravě molárního poměru vodních skel. [22, 26]

Výroba hydroxidů spočívá v rozpouštění oxidů ve vodě nebo reakcí hydroxidů alkalických kovů s vodným roztokem libovolné soli. Dále se hydroxidy vyrábějí elektrolýzou roztoku chloridu sodného, kdy vzniká hydroxid sodný, nebo elektrolýzou chloridu draselného za vzniku hydroxidu draselného. [26, 27, 40]

Práce s těmito materiály musí být velmi opatrná, neboť se jedná o silné žíraviny.

Hydroxid sodný

Hydroxid sodný je v čistém stavu bílá látka ve formě granulí, peciček nebo lístečků. Je silně hygroskopický, ponechání hydroxidu na vzduchu má za následek jeho rozpuštění na velmi koncentrovaný roztok. Z tohoto důvodu se ukládá do hermeticky uzavíratelných nádob. Je dobře rozpustný ve vodě, během rozpouštění dochází k silně exotermní reakci a značné produkci tepla, která vede k zvýšení teploty až na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, proto při rozpouštění se musí zajistit dostatečné chlazení. Přítomnost hydroxidu sodného vede ke zvýšení výkvetovitosti u alkalicky aktivovaných materiálů. [26, 27, 40]

Hydroxid draselný

Hydroxid draselný je velmi podobná látka hydroxidu sodnému, je silně hygroskopická, má dobrou rozpustnost ve vodě. Rozpouštění hydroxidu draselného je stejné jako u výše uvedeného hydroxidu. Má bílou barvu. [49]

Hydroxid vápenatý

Nejběžnější a také nejstarší aktivátor latentní hydraulicity. Je vyráběn z uhličitanu vápenatého (CaCO_3). Uhličitan vápenatý jako vstupní surovina se pomele pomocí drtičů na požadovanou velikost a následuje výpal v rotačních pecích za teploty 800 – 1350 °C. Po výpalu vzniká pálené nehašené vápno. Po vypálení následuje proces hašení vápna, kdy se nehašené vápno smíchá s určitým podílem vody a vzniká hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 . Materiály schopné reakce s Ca(OH)_2 označujeme za pucolány. Hydroxid vápenatý je bílý prášek. [2, 49]

3.5.2 Uhličitany

Jedná se o krystalické látky, jejichž rozpuštěním ve vodě vznikne alkalický roztok použitelný k alkalické aktivaci. Alkalické (mimo lithné) a amonné uhličitany jsou rozpustné. Dnes se uhličitany vyrábí pomocí kontinuální Solvayovy metody, kde mezi základní suroviny patří chlorid sodný. [27, 49]

Uhličitany také tvoří nedílnou součást výroby cementu a vápna. Nejvýznamnější horniny ve stavebnictví představují vápenec, dolomit a magnezit. [26, 27]

Uhličitan sodný

Uhličitan sodný se vyrábí pomocí Solvayovy metody. Roztok chloridu sodného se nasytí amoniakem (NH_3) a poté oxidem uhličitým (CO_2). Vzniká hydrogenuhličitan sodný (NaHCO_3) a chlorid amonný (NH_4Cl). Další krok výroby spočívá ve filtraci směsi chloridu amonného a méně rozpustného hydrogenuhličitanu sodného, který se vzápětí tepelným rozkladem v kalcinační peci o teplotě 140 – 220 °C převede na uhličitan sodný (Na_2CO_3), který má schopnost alkalické aktivace. [26]

3.5.3 Sodné vodní sklo

Vodní sklo je nejpoužívanější alkalický aktivátor, připravený tavením křemičitanu sodného a následným roztavením. Vzniklý produkt je ve formě koloidního roztoku, který je dobře rozpustný ve vodě. [24, 50]

Výroba vodního skla probíhá kontinuálním tavením sklářského písku a sody ve vakuových pecích za teploty 1300 – 1400 °C, takto roztavená směs se následně rychle

ochladí řízeným chlazením, aby tavenina rozpraskala na co nejmenší části (po ochlazení tavenina granuluje) a tím se lépe rozpustila. Rozpuštění se provádí pomocí hydroxidu sodného, vody, zvýšené teploty a tlaku v autoklávu na tekuté vodní sklo. Proces rozpouštění závisí na mnoha faktorech, ať už se jedná o jemnost mletí křemičitanu, teplotu nebo také alkalitu křemičitanu. Vyšší modul, vyšší jemnost mletí a vyšší teplota nám zaručuje vyšší rozpustnosti a naopak. [24]

Složení vodního skla závisí na molárním poměru M_s (silikátový modul), který se pohybuje v rozmezí od 2 (alkalický kmen) do 3,6 (neutrální kmen). [24]

Silikátový modul vyjádření (6):

$$M_s = \frac{SiO_2}{Na_2O} \quad (6)$$

Pevné vodní sklo vzniká sušením a následným zahuštěním v podtlakových podmínkách koloidního vodního skla s přídavkem NaOH. [24]

Hlavní pojivovou složku ve vodním sklu tvoří gel kyseliny křemičité. [24]

4. Povrchové úpravy

Účelem povrchových úprav je ztvárnění končeného stavebního díla, nejen po stránce funkční a účelné, ale i estetické. Úpravy povrchů jsou velmi pestré. Tradiční mokrá technologie používá omítky, malby, nástřiky a nátěry, a modernější, suchá technologie, suché maltové směsi a obklady. Povrchové úpravy jsou řazeny k dokončovacím stavebním pracím. [30]

Rozdělení stavebních povrchových úprav:

- Svislé vnější povrchy (fasáda),
- Svislé vnitřní povrchy,
- Podhledy,
- Nášlapné vrstvy podlah.

[39]

4.1 Technické požadavky povrchových úprav

Technické požadavky na povrchové úpravy se liší dle účelu objektu. Bytové objekty vyžadují přiměřené mechanické, avšak dobré estetické ztvárnění a tepelně technické vlastnosti materiálů. U občanské výstavby se vyžadují dobré akustické, požární a mechanické požadavky a jejich přijatelná trvanlivost. V průmyslových objektech dáváme přednost funkčnosti a účelnosti povrchů. [39]

Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti úzce souvisí s trvanlivostí povrchových úprav a jsou závislé na druhu podkladu, na nějž jsou aplikovány. Při nanášení omítkového systému musí být dodržena zásada vyšší pevnosti podkladu. Mezi mechanické vlastnosti povrchových úprav svislých stavebních konstrukcí se řadí ořezuvzdornost a přídržnost k podkladu. U podlahových ploch hodnotíme obrusnost a rozdílnou dilataci mezi podkladem a povrchovou úpravou. Povrchové úpravy, které jsou namáhané mokrým provozem navíc vodovzdorností a nasákavostí. [1, 38, 39]

Přidržnost

Vyjadřuje normálovou sílu, kterou je potřeba vyvodit na odtržení jednotky plochy povrchové úpravy tahem od podkladu. Je závislá na spáře mezi podkladem a povrchovou úpravou. Přidržnost se může měnit vlivem objemových změn, či vlivem teploty nebo vlhkosti. [39]

4.2 Malty

Malta je stavivo, které se připravuje smíšením drobného kameniva s anorganickým pojivem, případně přísadami a příměsemi. Jednotlivé složky se rozmíchají na požadovanou konzistenci. [35, 45]

Jsou tradičním stavebním materiálem sloužícím ke spojování zdících prvků a k úpravě povrchů staveb, utěsnění dutin, spár. Malty slouží také k ochraně výztuže vůči agresivnímu prostředí, k izolaci před teplotami a vodě. [35, 45]

Výroba malty se provádí buď přímo na staveništi (staveništní malta) nebo předem průmyslově vyráběná malta, která je dodávána jako suchá maltová směs, která se na staveništi rozmíchá s určitým množstvím vody. Další možností výroby malty je malta kompletní, která je dodávána včetně všech složek, tedy i s vodou. Takto vyrobená malta je dopravována na místo použití jako mokrá maltová směs. [45]

Malty se rozlišují podle účelu použití, podle užitého pojiva, pevnosti v tlaku, objemové hmotnosti a podle dalších požadavků kladených na jejich vlastnosti, mezi něž patří mrazuvzdornost, vodotěsnost, propustnost vodních par a jiné. [35]

Důležitými vlastnosti u čerstvých malt jsou doba zpracovatelnosti, obsah vzduchu, obsah chloridů, čas úpravy a zrnitost kameniva. Mezi další hodnotící vlastnosti patří u zatvrdlé malty zejména soudržnost, absorpce vody, propustnost vodních par a objemová hmotnost. [45]

Plnivem malt může být přírodní kamenivo, struskové kamenivo, expandovaný perlit, granulovaný expandovaný polystyren a slévárenský písek. Druh a frakce kameniva se vybírá dle požadavků a účelu použití malty. Frakce 0/4, 0/8 a 4/8 mm se používá pro stykové malty, nebo pro malty na výrobu keramických dílců. Frakce 0/4 mm se používá pro zdící malty,

pro dlažbu a pro jádrovou vrstvu omítek. Frakce 0/1 mm pro jemné omítky a pro spárování. [37, 45]

4.2.1 Rozdělení malt pro stavební účely

Užití malt ve stavebnictví je velmi rozsáhlé. Slouží především ke spojování jednotlivých zdících prvků nebo prefabrikátů, jako vyrovnání jednotlivých tolerancí a k provedení povrchové úpravy. [37]

- Podle účelu použití

- Pro zdění, omítání, kladení dlažeb, obklady, spárování, výroby keramických dílců, stykové malty, sanační a reparační malty a pro speciální účely.

- Podle pojiva

- Vápenné
 - Obyčejné - MV
 - Jemné - MVJ
- Vápenocementové
 - Obyčejné - MVC
 - Jemné - MVCJ
 - Pro šlechtěné omítky - MVCO
- Vápenosádrové - MVS
- Sádrové - MS
- Cementové
 - Obyčejné - MC
 - Pro cementový postřík - MCP [39, 45]

- Podle třídy pevnosti (Tab. 1)

Tab. 1: Třídy malt

Hodnoty pevnosti v tlaku							
Třída	M1	M2,5	M5	M10	M15	M20	Md
Pevnost v tlaku [N.mm ⁻²]	1	2,5	5	10	15	20	d
d - je pevnost v tlaku větší než 25 N.mm ⁻² deklarovaná výrobcem							

Výrobce malt má deklarovat pevnost v tlaku v souladu s tabulkou tříd malt, kde je pevnost v tlaku označována jako M dle pevnosti v tlaku N.mm⁻², kterou překračuje. [45]

4.2.2 Obyčejné malty

Obyčejné malty mohou mít složení, které nemusí být dokládáno průkazem o složení. Zdivo vyzděné z obyčejné malty není mrazuvzdorné, a proto je nutná aplikace dalších vrstev chránící její celistvost a jako ochrana před vlhkostí. [35, 45]

4.2.3 Vylehčené malty

Vylehčené malty jsou průmyslově vyráběné malty, které mají objemovou hmotnost nižší než 1500 kg.m^{-3} . Obsahují lehké kamenivo, mezi které se řadí keramzit, vermikulit, hutní pemza nebo také polystyrenové kuličky. Pokud malty nedosahují objemové hmotnosti vyšší než 1000 kg.m^{-3} , jsou tyto malty označovány jako tepelně izolační. Malty tohoto typu nesmí být využívány pro zdění kleneb a pohledových zdí, které jsou vystaveny povětrnostním vlivům. Pojivem vylehčených malt je cement. Malty tohoto typu mohou obsahovat i příměsi, jako jsou plastifikátory a provzdušňovače. [35]

4.2.4 Spárovací malty

Spárovací malty slouží pro spárování pohledového zdiva. Zrnitost kameniva musí být menší než 2 mm. Vodoodpudivost spárovací malty lze zvýšit odpovídajícími přísadami. [25, 34, 45]

4.3 Malty pro vnější a vnitřní omítky

Omítky se v zásadě rozdělují na vnitřní a vnější, slouží k vyrovnání nerovností zdiva, k ochraně zdících prvků, prodloužení trvanlivosti, k zlepšení tepelně izolačních vlastností, k úpravě vzhledu. [37]

Malty pro vnitřní a vnější omítky nedosahují svých vlastností, pokud po aplikaci nezatvrdnou. Vlastnosti použitého materiálu závisejí na tloušťce a způsobu nanesení a kromě toho také na povrchu omítané konstrukce. Aplikace na savý povrch je méně vhodná varianta, protože může způsobit zeslabení hydratačního procesu a snížit také přídržnost k podkladu. Nízká savost naopak může způsobit nedostatečné svázání. [37, 45]

Omítky pro stavební praxi neumožňují předepsání normalizovaného dávkování směsi pro předpisovou maltu v celé Evropě. Proto je specifikace dávkování a výsledná receptura závislá na oblasti použití a zkušenosti z praxe. [45]

Výrobci omítek dodávají ucelenou řadu průmyslově vyráběných suchých omítkových směsí, ať už se jedná o suché malty, obyčejné, či lehké. [45]

4.3.1 Rozdělení malt pro vnější a vnitřní použití

Malty pro vnější a vnitřní omítky se rozdělují podle záměru výroby, podle způsobu výroby a jejich vlastností a použití. [45]

Rozdělení vnějších a vnitřních omítek:

- **Podle záměru výroby**
 - Návrhové malty podle volby výrobce
 - Předpisové malty
- **Podle způsobu výroby**
 - Průmyslově vyráběné
 - Malty z části připravené průmyslově
 - Staveništní malty
- **Podle vlastností a použití**
 - Obyčejné malty pro vnější a vnitřní omítky (GP)
 - Lehké malty pro vnější a vnitřní omítky (LW)
 - Sanační malty pro vnější a vnitřní omítky (R)
 - Tepelně izolační malty pro vnější a vnitřní omítky (T)
 - Malty jednovrstvé vnější omítky (OC)
 - Zabarvené malty pro vnější omítky (CR) [45]

4.3.2 Omítky

Patří mezi tradiční stavební materiál používaný k úpravě vnitřních a vnějších povrchů. Vnitřní omítky umožňují dokonalejší vyhlazení povrchů, což je žádoucí pro nátěry, malby a tapetování. Používají se omítky z měkčích materiálů, protože nemusí vzdorovat klimatickým vlivům. [37]

Druhy omítek

Omítky můžeme rozdělit podle několika hledisek, a to buď podle použitého pojiva, pevnosti, použití, struktury, nasákavosti, objemové hmotnosti a funkce. [1, 45]

Štuková jemná omítka

Štuková jemná omítka se nanáší na jádrovou omítku nebo jiný upravený povrch (pórobeton, který je opatřený stěrkovým lepidlem s perlinkou). Funkcí štukové omítky je vytvoření ideálně rovného povrchu, pro vytvoření podkladu pro malbu nebo tapetu. [37, 45]

Sádrová omítka

Sádrové omítky jsou po zatvrdnutí dokonale hladké a mají pěkný povrch. Nanášejí se v řádech milimetrů. Hladký povrch je zajištěn ocelovým hladítkem, kterým se uhladí aplikovaná omítka. [45]

Sanační omítky

Jsou určeny k povrchové úpravě vlhkého a zasoleného zdiva. Soli se do zdiva dostávají transportem pomocí vztlínající vlhkosti. Krystalizace těchto solí může způsobit během velmi krátké doby rozrušení nově provedené omítky. [45]

Předností sanačních omítek je, že dokáží umožnit vysychání zdiva, v sanační omítce je díky pórům umožněn transport vodní páry. Zároveň slouží tyto póry jako místo k uložení škodlivých solí. [45]

Sanační omítky mají oproti omítkám běžného typu vyšší pórovitost, vyšší propustnost pro vodní páru a sníženou kapilární nasákavost. Tyto vlastnosti mají vliv na mrazuvzdornost a odolnost proti působení vodorozpuštěných solí. Do sanačních omítek se používá hydraulické pojivo, protože omítka musí rychle ztvrdnout, vyschnout a mít dostatečnou pevnost. [45]

Tenkovrstvé omítky

Nanášejí se v milimetrových tloušťkách a zhotovují se z průmyslově vyrobených suchých omítkových směsí. Tenkovrstvé omítky se dělí podle použitého pojiva na minerální (sádrové, vápenocementové), akrylátové, silikonové a silikátové. [45]

Soklové omítky

Tyto malty se vyznačují vysokou pevností, která je obvykle nad hodnotou 5 MPa. Při použití soklové omítky je důležité ji provádět v maximální tloušťce 20 mm v jedné vrstvě, jinak hrozí nebezpečí vzniku trhlin. [1]

Reprofiláční malty

Reprofiláční malty jsou určeny pro opravy koroze poškozených betonových konstrukcí, železobetonových konstrukcí a hlubších poškození betonu. Aplikace reprofiláčních malt se provádí ve vnitřním i vnějším prostředí. Tyto malty se vyznačují vysokou mechanickou pevností i odolností, dobrou zpracovatelností, vysokou odolností rozmrazovacím solím a odolností proti rozpínání. [35, 37, 45]

5. Praktická část

Cílem diplomové práce je ověření možnosti přípravy jemnozrnné alkalicky aktivované hmoty na bázi velmi jemně mleté granulované vysokopecní strusky a na základě zjištěných vlastností zhodnocení možnosti jejího použití pro výrobu omítek, spárovacích hmot a případných dalších aplikací.

5.1 Vstupní suroviny

Jako vstupní suroviny pro výrobu alkalicky aktivovaných hmot v této práci byly použity velmi jemně mletá granulovaná vysokopecní struska, křemenný písek, hydroxid sodný, vodní sklo sodné a draselné, fosforečnan sodný a sacharóza.

5.1.1 Vysokopecní granulovaná struska

V diplomové práci byla použita velmi jemně mletá vysokopecní granulovaná struska SMŠ 400 od firmy Kotouč Štramberk, spol. s r.o. s měrným povrchem $400 \text{ m}^2.\text{kg}^{-1}$. Vysokopecní granulovaná struska je práškové pojivo bílé barvy s latentně hydraulickými vlastnostmi. Procentuální zastoupení oxidů ve vysokopecní strusce je uvedeno v Tab. 2 a Příloze 1.

Tab. 2: Procentuální zastoupení oxidů ve vysokopecní granulované strusce

Struska mletá	Procentuální zastoupení [%]
CaO	40,0
MgO	8,9
SiO ₂	39,9
Al ₂ O ₃	6,9
Fe ₂ O ₃	0,4
SO ₃	0,6
(CaO + MgO)/ SiO ₂	1,2

5.1.2 Aktivátor

V práci byly použity tři druhy aktivátorů, mezi něž se řadilo vodní sklo sodné, které bylo upraveno pomocí 50 % roztoku hydroxidu sodného na konečný silikátový modul $M_s = 2$. Dále bylo při práci použito draselné vodní sklo se silikátovým modulem $M_s = 1,7$. Jako poslední aktivátor sloužil metakřemičitan sodný. Vlastnosti použitých aktivátorů jsou uvedeny v Přílohách 2, 4, 5 a vlastnosti hydroxidu sodného v Příloze 3.

5.1.3 Křemenný písek

Všechny zkoušky hmot pro použití na omítkové systémy byly provedeny s plnivem na bázi křemenného písku frakce 0/1 mm. Pro spárovací hmoty byl použit křemenný písek frakce 0,1/0,3 mm. Zrnitost obou typů písků byla v průběhu experimentů ověřena.

5.1.4 Voda

Pro potřebnou jakost připravovaných směsí byla použita voda z vodovodního řadu, aby připravované směsi nebyly nepříznivě ovlivňovány.

5.1.5 Sacharóza

Z důvodu potřebného oddálení procesu hydratace a tím zlepšení zpracovatelnosti byla v práci použita sacharóza.

5.1.6 Fosforečnan sodný

Z důvodu potřebného oddálení procesu hydratace a tím zlepšení zpracovatelnosti byl v práci použit fosforečnan sodný. Vlastnosti fosforečnanu sodného jsou uvedené v Příloze 6.

5.2 Metodika přípravy a zkoušení

Metodika přípravy a zkoušení alkalicky aktivovaných materiálů není nijak definována. Pro alkalicky aktivované materiály neexistují normové postupy pro jejich přípravu a zkoušení. Jednotlivé postupy a zkoušky se proto provádí podle technických norem pro betony a malty.

V rámci experimentu byly jednotlivé druhy alkalicky aktivovaných hmot podrobeny zkouškám uvedeným v následujících podkapitolách, a to vždy v závislosti na normových požadavcích pro jednotlivé typy hmot.

5.2.1 Míchání směsí

Míchání směsí bylo v souladu s normou ČSN EN 196 – 1 a ČSN 196 – 3. Příprava směsí se skládá ze dvou částí. První fáze míchání byla provedena s pojivem, alkalickým aktivátorem a vodou. Při smíchání pojiva, alkalického aktivátoru a vody bylo do chodu uvedeno laboratorní zařízení (laboratorní míchačka) a postup byl shodný s přípravou cementové kaše. Druhá fáze míchání byla shodná s normovým postupem pro přípravu cementové malty, při níž bylo do směsi dávkováno plnivo. [12, 13]

5.2.2 Zhotovení těles pro zkoušení

Pro omítky

Připravená směs byla dávkována ihned po přípravě do předem připravené ocelové formy na trámečky o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Forma, umístěná na magnetický stolek, byla plněna ve dvou vrstvách, kdy každá vrstva byla hutněna pomocí magnetického stolku po dobu 120 s. Vycházelo ze z normy ČSN EN 196-1. [12]

Pro spárovací hmoty

Jednotlivé zkoušky pro stanovení vlastností alkalicky aktivovaných spárovacích hmot si vyžádaly přípravu zkušebních těles dle požadavků příslušných norem (otěruvzdornost), případně trámečky normových rozměrů s určitou úpravou (smrštění, nasákavost).

5.2.3 Uložení zkušebních těles

Pro omítky:

Formy se směsí byly ihned po ukončení hutnění uloženy do vlhkostní skříně s relativní vlhkostí nejméně 90 % a trvalou teplotou 20 ± 1 °C. Po naplnění formy se vrchní část opatřila smršťovací folií nebo skleněnou deskou. Po uplynutí jednoho dne zrání byly tyto vzorky odformovány. Zhotovená tělesa se poté umístila zpět do vlhkostní skříně, kde byla ponechána po celou zbývajících dobu zrání. [12]

Pro spárovací hmoty:

Formy se směsí byly ihned po ukončení hutnění uloženy ve standardním prostředí o teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 %. Po naplnění formy se vrchní část opatřila smršťovací folií nebo skleněnou deskou. Po uplynutí jednoho dne zrání byly tyto směsi vyjmuty z formy. Zkušební tělesa byla poté kondicionována při standardních laboratorních podmínkách.

5.2.4 Stanovení konzistence

Podobná konzistence a dobrá aplikovatelnost všech směsí byla sjednocujícím kritériem pro možnost vyhodnocení vlastností jednotlivých systémů. Konzistence čerstvé směsi byla určena pomocí střešacího stolku dle normy ČSN EN 1015 – 3.

Zkouška konzistence spočívá ve stanovení hodnoty průměrného rozlití zkušebního vzorku čerstvé směsi, umístěné na předepsané desce střešacího stolku pomocí předepsaného kovového kužele. Deska střešacího stolku volně padá předepsaným počtem svislých pádů z předepsané výšky. [6]

Deska střešacího stolku včetně kovového kužele byla před každou zkouškou očištěna pomocí vlhké tkaniny a otřena do sucha. Stanovení konzistence spočívalo v naplnění kovového kužele ve dvou vrstvách, kdy se každá vrstva zhutnila 10 údery dřevěného dusadla tak, aby kovový kužel byl rovnoměrně naplněn. Přebytková směs byla odstraněna pomocí zednické lžice. Naplněný kužel se po dobu 15 s zvedá kolmo vzhůru a směs umístěná na střešacím stolku je podrobena rozlití 15 nárazy s konstantní frekvencí 1 zdvihu za sekundu. Průměr rozlitého koláče směsi se změřil ve dvou na sebe kolmých směrech. Výsledky měření byly zaznamenány v mm s přesností na 1 mm a zprůměrovány. [6]

5.2.5 Stanovení dob tuhnutí

Stanovení dob tuhnutí bylo provedeno podle normy ČSN EN 196-3 na Vicatově přístroji. Hodnoty v experimentu byly stanovovány oproti normovému postupu na recepturách včetně plniva, jelikož nebylo možno připravit kaši bez plniva s dávkou adekvátně snížené záměsové vody potřebné pro smáčení kameniva. Voda je součástí aktivátoru a není možno v experimentu provádět její redukci v roztoku. Proto stanovení spíše sloužilo jen pro orientační zhodnocení rozdílného chování u jednotlivých receptur. [13]

Za dobu tuhnutí je považován časový úsek, kdy jehla vnikne do stanovené hloubky namíchané směsi. [13]

Počátek doby tuhnutí se stanovuje na Vicatově přístroji opatřeném jehlou. Vicatův přístroj se nastaví do nulové polohy, to je provedeno postavením jehly na skleněnou desku a nastavením nulové polohy rysky na stupnici. Po výše uvedeném postupu se jehla zdvihne do horní výchozí polohy. Vicatův prstenec umístěný na skleněné desce se naplní směsí alkalicky aktivovaného materiálu a urovná se povrch, který se postaví pod jehlu Vicatova přístroje. Jehla se ustaví tak, aby se dotýkala horního povrchu připravené směsi po dobu 1 – 2 sekund, aby se zabránilo nadměrnému zrychlení. Po nastavení se uvolní pohyblivá část přístroje a jehla proniká svisle do namíchané směsi. V poslední části se odečte hloubka vniknutí, nejpozději však do 30 sekund. [13]

Stanovení počátku doby tuhnutí bylo provedeno ve vhodně zvolených intervalech po 5 - 10 minutách a na vhodně zvolených místech, vzdálených 10 mm od kraje prstence a 10 mm od posledního vpichu. Před každým následujícím vpichem byla jehla očištěna. Za počátek doby tuhnutí se rozumí doba od vsypání pojiva do míchačky (nulový čas) do okamžiku, kdy se jehla zastaví nad skleněnou destičkou ve vzdálenosti 6 ± 3 mm. Výsledky měření byly zaznamenány s přesností na 5 min. [13]

Koncem doby tuhnutí se rozumí doba, kdy kruhový nástavec nezanechává žádný otisk na povrchu zkoušené směsi, nebo pronikl do směsi jen 0,5 mm. Konec doby tuhnutí byl stanoven na obráceném Vicatově prstenci, aby mohly být provedeny zkoušky na původně přilehlé straně ke skleněné desce. [13]

5.2.6 Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty

Stanovení zpracovatelnosti bylo provedeno dle normového postupu a podle zkušeností v oblasti stavebnictví.

Normativní postup:

Zkouška zpracovatelnosti byla provedena dle normy ČSN EN 1015-9, metodou B - zpracovatelnosti malt pro tenké spáry.

Podstatou zkoušky je doba v minutách, za kterou se změní hodnota rozlití o 30 mm proti původní hodnotě rozlití, stanovené 10 minut po zamíchání, a to interpolací výsledků před a po této hodnotě. [8]

V první části byla stanovena u všech namíchaných vzorků hodnota rozlití po 10 minutách od zamíchání, ze které se vycházelo. Další měření probíhalo každých 10 minut, až do překročení změny rozlití. V průběhu zkoušení byla malta přikryta vlhkou tkaninou a ponechána na vzduchu při teplotě 20 ± 2 °C. Jednotlivé výsledky každého vzorku se zaokrouhlily na jednu minutu a vypočetla se průměrná hodnota, která udává zpracovatelnost malty. [8]

Postup z praxe v oblasti omítkových a spárovacích hmot:

Zkouška zpracovatelnosti byla provedena podle zkušeností z praxe v oblasti omítkářství. Sledovala se doba zpracovatelnosti po vhodně stanovených intervalech nanášení na zdící prvek Ytong. Každá směs byla ihned po namíchání nanášena na zdící prvek a poté byla tato směs volně uložena na vzduchu. Každých 5 minut od namíchání byla sledována možnost opětovného nanesení. Před nanášením nebylo prováděno promíchání směsi.

5.2.7 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě

Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě, bylo provedeno tlakovou metodou, neboť předpokládaný obsah vzduchu v čerstvé maltě byl nižší než 20 %. Zkouška proběhla podle normového postupu uvedeného v ČSN EN 1015 – 7.

Zkouška spočívala v naplnění předepsané nádoby o objemu 1 litr maltou, která se plnila ve čtyřech stejných vrstvách, z nichž každá byla zhutněna deseti krátkými údery dřevěného dusadla a rozprostřena tak, aby mohl být zarovnan povrch malty. Přebytečná malta

se odebere pomocí špachtle a povrch se urovná zednickou lžící s horním okrajem nádoby. Vnější část nádoby na vzorek se očistí a osuší a víko se pomocí svorek připevní k nádobě. Vyrovnávací ventil se uzavře a otevřou se boční ventily. Ventilem A je do prostoru pod víkem a nad maltou přiváděna voda, aby se vytlačil přebytečný vzduch nad povrchem malty. Vzduch je vytlačen v případě, kdy ventilem B začne vytékat voda. Pokud začne voda vytékat, tak se uzavřou boční ventily. [7]

Poté se do vzduchové komory natlačí vzduch, tak aby ručička tlakoměru ukazovala počáteční hodnotu tlaku. Po otevření vyrovnávacího ventilu se na tlakoměru odečte hodnota obsahu vzduchu, která odpovídá hodnotě vzduchu v alkalicky aktivovaném materiálu v procentech. [7]

Odečtená hodnota se zaznamená s přesností 0,1 %. Obsah vzduchu se vypočte jako průměrná hodnota ze dvou měření jednotlivých vzorků zkušební malty. [7]

5.2.8 Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty

Stanovení objemové hmotnosti bylo provedeno dvěma způsoby.

Stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 1015 – 10

Objemová hmotnost byla stanovena dle normy ČSN EN 1015 – 10 na třech zkušebních vzorcích zhotovených pomocí předepsaných forem.

Jako první byl vzorek vysušen v sušárně o teplotě 70 ± 5 °C do ustálené hmotnosti. Ustálené hmotnosti bylo dosaženo, když po sobě jdoucí vážení se nelišila o víc než 0,2 % hmotnosti vysušeného zkušebního tělesa. Hmotnost vysušeného zkušebního tělesa byla zaznamenána s přesností 0,1 % a označena dle normy $m_{s,dry}$. [9]

Další měření hmotnosti bylo provedeno na vzorcích ponořených ve vodě o teplotě 20 ± 2 °C, tak dlouho, dokud nebylo pozorováno ukončení nárůstu zdánlivé hmotnosti, tedy dokud se dvě po sobě jdoucí vážení po 15 minutách ponoření ve vodě od sebe neliší o méně než 0,2 % hmotnosti. Po dosažení rovnoměrné hmotnosti se vzorky otřely od přebytečné vody vlhkou tkaninou a byly zváženy s přesností 0,1 % hmotnosti a jejich hmotnost byla označena $m_{s,sat}$. [9]

Poslední část měření proběhla vážením ve vodě pomocí hydrostatické váhy. Vlhké zkušební těleso se uloží na závěsné zařízení a ponoří se do vody tak, aby se stěny vzorků nedotýkaly stěn nádoby a byly celé pod vodou. Po odstranění vzduchových bublin ulpívajících na stěnách zkušebních vzorků se zaznamenala hmotnost $m_{s,l}$. [9]

Stanovení hmotnosti bylo provedeno dle následujících vzorců (7, 8):

$$V_s = \frac{m_{s,sat} - m_{s,l}}{\rho_w} \quad (7)$$

$$\rho = \frac{m_{s,dry}}{V_s} \quad (8)$$

kde:

$m_{s,dry}$	je hmotnost tělesa zatvrdlé malty vysušené v sušárně v kg,
$m_{s,sat}$	je hmotnost tělesa zatvrdlé malty nasáklé vodou v kg,
$m_{s,l}$	je zdánlivá hmotnost tělesa zatvrdlé malty nasáklé vodou, ponořené do vody v kg,
ρ_w	je hustota vody v kg/m^3 ,
V_s	je objem zkušebního tělesa ze zatvrdnuté malty v m^3 . [9]

Vyhodnocení výsledků bylo provedeno na třech tělesech. Naměřené výsledky se zprůměrovaly a vyjádřily s přesností na 10 kg/m^3 . [9]

Stanovení objemové hmotnosti dle normy ČSN EN 12390-7

Stanovení objemové hmotnosti bylo provedeno pomocí normy ČSN – EN 12390 – 7. Zkušební těleso bylo vyjmuto z místa uložení a poté povrchově osušeno suchou tkaninou. Tělesa byla změřena pomocí posuvného měřítka, kde byly zaznamenány tři hodnoty rozměru. Tyto hodnoty byly dále zprůměrovány. V poslední části bylo provedeno stanovení hmotnosti pomocí laboratorní váhy. [4]

Objemová hmotnost byla vypočtena dle následujícího vztahu (9):

$$D = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (9)$$

kde:

- D je objemová hmotnost v kg/m^3 ,
m je hmotnost zkušebního tělesa v kg,
V je objem tělesa v m^3 . [4]

Výsledek zkoušky se zaokrouhlí na nejbližších 10 kg/m^3 . [4]

5.2.9 Zkouška mrazuvzdornosti

Pro omítky:

Zkouška mrazuvzdornosti probíhala dle normy ČSN 72 2452. Spočívá ve střídavém rozmrazování a zmrazování zhotovených těles nasycených vodou, požadovaným počtem zmrazovacích cyklů, přičemž se sleduje míra porušení a stanovuje se stupeň mrazuvzdornosti. [3]

Mrazuvzdornost byla stanovena po 28 dnech zrání zkušebních trámeček o rozměrech $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ z alkalicky aktivovaných materiálů. Před zkouškou byly zaznamenány hodnoty rozměrů, hmotností a objemových hmotností. [3]

Zhotovená tělesa byla uložena v mrazícím zařízení tak, aby se vzorky vzájemně nedotýkaly. Jednotlivá tělesa uložena v mrazícím zařízení byla mezi sebou vzdálena minimálně 10 mm a minimálně 30 mm od okraje mrazícího prostoru. Teplotní čidla se v mrazícím prostoru nedotýkala zkušebních těles a byla volně uložena v prostoru. [3]

Tělesa se před zkouškou nasýtila vodou tak, aby byla ponořena minimálně 30 mm pod vodní hladinou po dobu 24 hodin ve vodní lázni s teplotou $20 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Poté se zkušební tělesa po nasycení vodou zmrazila. [3]

Jeden zkušební zmrazovací cyklus trvá čtyři hodiny a nejméně ze dvou hodin sestává rozmrazovací cyklus. Při zmrazování jsou zkušební tělesa v prostředí o teplotě -18 až $-23 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Při rozmrazování byla tělesa ponořena do $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ teplé vody. [3]

Po ukončení zkoušky následovalo změření a zvážení, aby se zaznamenal úbytek hmotnosti v procentech. Další část spočívala ve stanovení pevnosti v tlaku a tahu za ohybu. Posledním výsledkem je stanovení součinitele mrazuvzdornosti. [3]

Součinitel mrazuvzdornosti je poměr aritmetického průměru pevnosti v tahu za ohybu zkušebních trámeček k aritmetickému průměru hodnot pevností v tahu za ohybu porovnávané druhé sady. Druhá sada porovnávaných vzorků byla sada těles zkoušená po 28 dnech zrání. [3]

Materiály označované za mrazuvzdorné, nesmí pro daný počet zmrazovacích cyklů vykazovat úbytek pevnosti u zmrazovaných vzorků větší než 25 % oproti pevnostem porovnávacích vzorků. [3]

Pro spárovací hmoty:

Namíchané vzorky byly jeden den uloženy ve formě. Po vyjmutí z formy se kondiciují po dobu 6 dní za standardních podmínek a poté jsou uloženy ve vodní lázni po dobu 21 dní. Po uplynutí 28 dní jsou vzorky vloženy do mrazicího zařízení, kde jsou podrobeny 25 cyklům zmrazování a rozmrazování. [15]

Každý cyklus zmrazení a rozmrazení:

- Zkušební tělesa se vyjmou z vody a teplota prostředí se sníží na -15 ± 3 °C během 2 hodin \pm 20 minut,
- Zkušební tělesa se udržují při teplotě -15 ± 3 °C po dobu 2 hodin \pm 20 minut,
- Zkušební tělesa se ponoří do vody o teplotě 20 ± 3 °C a teplota vody se během 2 hodin \pm 20 minut zvýší na 15 ± 3 °C. [15]

Po ukončení posledního cyklu se zkušební tělesa před další zkouškou kondiciují 3 dny za standardních podmínek. Před zkouškou pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku se provede vizuální hodnocení povrchu zkoušené spárovací hmoty. Poté se provede hodnocení pevnosti. [15]

5.2.10 Stanovení přídržnosti

Přídržnost se stanovuje jako maximální napětí v tahu vyvozené zatížením působícím kolmo k povrchu malty pro vnější či vnitřní omítky, nanesené na podkladu. Tahové zatížení je vyvozováno prostřednictvím odtrhového terče, přilepeného na zkoušenou kruhovou plochu povrchu malty. Zkouška se provádí dle normy ČSN EN 1015 – 12. [11]

Kruhové terče se centricky přilepí pomocí pryskyřičného lepidla na zkušební plochy zatvrdlé malty. Po nalepení a vytvrzení pryskyřičného lepidla se řezným nástrojem ořízne

kolem dokola zkušební terč, oříznutí musí být provedeno tak, aby byl podklad určený pro finální úpravu proříznut asi do 2 mm. Poté se zkušební přístroj připevní pomocí šroubového závitu na zkušební terč, kterým se vyvodí tahové zatížení kolmo na zkoušenou plochu. [11]

Zatížení se vyvozuje rovnoměrně bez nárazů. Rychlost zatížení se volí v rozmezí od 0,003 N/(mm².s) do 0,100 N/(mm².s) dle předpokládané přídržnosti tak, aby k porušení došlo v rozmezí od 20 s až do 60 s. Při porušení se zaznamená zatížení a vyloučí se všechny výsledky zkoušek, u kterých dojde k odtržení vrstvy lepidla mezi kruhovým terčem a maltou. [11]

Přídržnost se vypočítá s přesností 0,05 N/mm² podle vztahu (10):

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (10)$$

kde:

f_u je výsledná pevnost v tahu v N/mm²,

F_u je největší dosažená tahová síla v Newtonech,

A je plocha tělesa v mm². [11]

Přídržnost se hodnotí po 28 dnech na minimálně 5 zkušebních tělesech. Výsledek zkoušky se vypočítá s přesností na 0,1 N/mm² a zprůměruje. [11]

5.2.11 Stanovení zrnitosti

Zkouška sestává z oddělení zrnitého materiálu pomocí sady sít do několika zrnitostních podílů s klesající velikostí částic. Sítovým rozbořem určujeme granulometrické složení kameniva. [5]

Zrnitost kameniva se určuje dle normy ČSN EN 1015-1 a provádí se na zařízení s normovou řadou sít. Navážka kameniva se zváží a umístí se do prosévacího zařízení. Hmotnost částic zachycených na jednotlivých sítích se uvádí ve vztahu k počáteční hmotnosti materiálu. Souhrnný propad jednotlivými sítí se uvádí v procentech a grafické podobě. [5]

5.2.12 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Pro omítky

Zkouška pevnosti v tahu za ohybu byla provedena na vytvořených zkušebních tělesech jednotlivých směsí v souladu s normou ČSN EN 1015-11.

Zkoušený trámeček byl uložen do zkušebního zařízení tak, aby jeho podélná osa byla kolmá k válcovým podporám. Zatížení bylo vynakládáno přes jeden zatěžovací válec. Směr zatěžování byl kolmý na směr plnění směsi do formy při zhotovování zkušebních těles. Zatížení vynaložené bez rázů na zlomení trámečků se zvyšovalo rovnoměrnou rychlostí v rozsahu od 10 N/s do 50 N/s, aby k porušení došlo v intervalu mezi 30 – 90 s. Zkoušení bylo provedeno vždy na třech tělesech. Poloviny trámečků vzniklých při zkoušce se uchovaly pro stanovení pevnosti v tlaku. [10]

Pevnost v tlaku se vyjádřila pomocí vzorce (11):

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * l}{b_1 * b_2^2} \quad (11)$$

kde:

- | | |
|-------|---|
| R_f | je pevnost v tahu za ohybu vyjádřená v N/mm ² , |
| F_f | je zatížení vynaložené na střed trámečku pro dosažení jeho zlomení v Newtonech, |
| l | je vzdálenost mezi podporami v mm, |
| b_1 | je šířka zkoušeného trámečku, |
| b_2 | je výška zkoušeného trámečku. [10] |

Stanovení proběhlo na třech vzorcích jednotlivých záměsí. Výsledek je hodnotou zprůměrování třech vzorků a vyjádřen s přesností na 0,1 N/mm². [10]

Pro spárovací hmoty

Zkouška pevnosti v tahu za ohybu byla provedena dle normy ČSN EN 196 - 1 a ČSN EN 12808 - 3. Postup je shodný s výše uvedeným, jen nemusí dojít u zkoušeného vzorku k porušení v intervalu 30 – 90 s. [15]

5.2.13 Stanovení pevnosti v tlaku

Pro omítky

Zkouška pevnosti v tlaku byla provedena na trámečcích, které byly předchozí zkouškou rozlomeny na dvě části. Vyloučí se tělesa, která nevytváří krychli pevného materiálu mezi horní a dolní tlačnou deskou. Zkouška byla provedena na zkušebním lisu v souladu s normou ČSN EN 1015 – 11. Poloviny trámečků byly položeny na destičky zkušebního stroje tak, aby koncové strany přesahovaly asi o $16 \pm 0,1$ mm. Zatížení zkušebního stroje se zvyšuje plynule do porušení zkušebního tělesa. [10]

Pevnost v tlaku je vyjádřena vzorcem (12):

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (12)$$

kde:

R_c je pevnost v tlaku v N/mm^2 ,

F_c je zatížení vynaložené na porušení zkušebního vzorku vyjádřené v Newtonech,

1600 je to plocha destiček zkušebního zařízení (40 x 40) vyjádřená v mm^2 .

Měření bylo provedeno na šesti vzorcích. Naměřené výsledky se poté zprůměrovaly a vyjádřily s přesností na $0,1 \text{ N/mm}^2$. [10]

Pro spárovací hmoty

Zkouška pevnosti v tlaku byla provedena dle normy ČSN EN 196 – 1 a ČSN EN 12808 - 3. Při zkoušení vzorků na pevnost v tlaku se zatížení zvyšuje rovnoměrnou rychlostí od 200 N/s do 2400 N/s až do porušení zkušebního vzorku. [15]

5.2.14 Stanovení zdánlivé pórovitosti

Zdánlivá pórovitost (PZ) udává poměr otevřených pórů k celkovému objemu tělesa. Otevřené póry jsou tvořené pevnou látkou, do které může proniknout kapalina z vnějšího prostředí. Vypočítá se v % z uvedeného vztahu (13). [28]

$$PZ = \frac{m_{s,sat} - m_{s,dry}}{(m_{s,sat} - m_{s,l})} * 100 \quad (13)$$

kde:

$m_{s,dry}$	hmotnost vysušeného vzorku v g,
$m_{s,sat}$	hmotnost nasyceného vzorku v g,
$m_{s,l}$	hmotnost nasyceného vzorku váženého ve vodě v g. [28]

Tato zkouška se provádí společně se stanovením objemové hmotnosti hydrostatickým vážením, liší se pouze ve výpočtu. Nejdříve je nutno vzorky zvážit nasycené ve vodě, kdy po vyjmutí z vodní lázně se povrchově otřou a zváží se na vzduchu, tím získáme hmotnost m_n . Poté je potřeba nasycené vzorky zvážit na hydrostatické váze ponořené ve vodě, zaznamená se hmotnost m_{nw} . V poslední části se vzorky nechají vysušit do ustálené hmotnosti a opět se určí jejich hmotnost m_s . [28]

5.2.15 Stanovení zdánlivé nasákavosti

Nasákavost (NV) je schopnost materiálu přijímat kapalinu. Stanovuje se v % jako poměr hmotnosti vody pohlcené zkušebním vzorkem ke hmotnosti vysušeného vzorku. Zdánlivá nasákavost se vypočte z vztahu (14) [28]:

$$NV = (m_{s,sat} - m_{s,dry}) / m_{s,dry} \quad (14)$$

kde:

$m_{s,dry}$	hmotnost vysušeného vzorku v g,
$m_{s,sat}$	hmotnost nasyceného vzorku v g.

Postup zkoušky je obdobný jako u stanovení objemové hmotnosti na hydrostatických vahách, liší se pouze ve výpočtu. [28]

5.2.16 Stanovení zdánlivé hustoty

Zdánlivé hustota (ZH) udává hmotnost vysušeného vzorku na jednotku jeho objemu včetně uzavřených pórů. Pokud vzorek nemá uzavřené póry, pak se zdánlivá hustota rovná měrné hmotnosti. [28]

Zdánlivou hustotu v $[\text{kg/m}^3]$ vypočítáme ze vzorce (15):

$$ZH = \frac{m_{s,dry}}{(m_{s,dry} - m_{s,l})} * \rho_v \quad (15)$$

kde:

$m_{s,dry}$	hmotnost vysušeného vzorku v g,
$m_{s,l}$	hmotnost nasyceného vzorku váženého ve vodě v g,
ρ_v	hustota kapaliny, v níž je prováděno hydrostatické vážení v kg/m^3 .

Postup zkoušky je obdobný jako u stanovení objemové hmotnosti na hydrostatických vahách, liší se pouze ve výpočtu. [28]

5.2.17 Stanovení měrné hmotnosti

Stanovení měrné hmotnosti nebo také skutečné hustoty bylo provedeno pomocí pyknometru. Měrná hmotnost vyjadřuje objem vzorku bez pórů. Vzorky jednotlivých směsí byly odebrány ze zbytků těles po stanovení pevnosti v tlaku, kdy se z takto porušených těles odebraly dva vzorky, u kterých následovalo pomletí v mlýně. [28]

Jednotlivé prázdné pyknometry se zváží a zaznamená se hmotnost m_1 . Poté se pomleté vzorky vloží do pyknometru a zváží se, hodnotu označíme m_2 . Po provedení tohoto postupu se pyknometr se vzorkem naplní demineralizovanou vodou tak, aby nezůstal žádný vzduch v pyknometru a zváží se, zaznamenaná hodnota je hmotností m_3 . Poslední částí je vypláchnutí pyknometru od ulpělého materiálu a naplnění samotného pyknometru demineralizovanou vodou a opět se určí hmotnosti m_4 . Měření pyknometru v každé části proběhlo se zátkou, která je potřebná kvůli odstranění vzduchu ve vzorku. [28]

Měrná hmotnost byla vypočtena ze vztahu (16):

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3 - m_1 + m_2} * \rho_w \quad (16)$$

kde:

- m_1 je hmotnost prázdného pyknometru,
 m_2 je hmotnost naplněného pyknometru namletým vzorkem,
 m_3 je hmotnost pyknometru s demineralizovanou vodou a namletým vzorkem,
 m_4 je hmotnost pyknometru s demineralizovanou vodou,
 ρ_w hustota demineralizované vody v kg/m^3 ,
 ρ měrná hmotnost v kg/m^3 . [28]

Výsledek zkoušky se zaokrouhlí na nejbližších 10 kg/m^3 . [28]

5.2.18 Stanovení skutečné pórovitosti

Skutečná pórovitost uvádí poměr mezi objemem všech pórů k celkovému objemu tělesa. Zkoušený vzorek tedy obsahuje jak uzavřené tak i otevřené póry. Skutečná pórovitost se stanoví z naměřených hodnot z předešlých zkoušek a vypočítá se ze vztahu (17): [28]

$$PS = \frac{\rho - OH}{\rho} * 100 \quad (17)$$

kde:

- PS skutečná pórovitost,
 ρ měrná hustota,
OH Objemová hmotnosti určená na hydrostatických vahách v kg/m^3 .

Vypočtená hodnota skutečné pórovitosti se uvádí v procentech.

5.2.19 Stanovení otěruvzdornosti

Stanovení otěruvzdornosti bylo provedeno v souladu s normou ČSN EN 12808-2. Zkoušený vzorek o rozměrech $100 \times 100 \text{ mm}$ se uloží do zkušebního zařízení upravenou stranou k rotujícímu kotouči. Vzorek musí být uložen tak, aby zaujímal tangenciální polohu vzhledem

ke kotouči, tím se zajistí, že brusivo je z násypky dodáváno rovnoměrně do prostoru, ve kterém dochází k obrušování. [14]

Zkouška končí, když se ocelový kotouč otočí padesátkrát. Po ukončení tohoto cyklu se zkoušený vzorek vyjme a měří se délka tětiny brusné stopy s přesností na 0,5 mm. Otěr se musí hodnotit nejméně na dvou místech a to vždy na straně uhlazené stěrkou. [14]

Výpočet úbytku (18):

$$V = \left(\frac{\pi\alpha}{180} - \sin\alpha \right) * \left(\frac{hd^2}{8} \right) \quad (18)$$

kde:

\sin je $(\alpha/2) = L/d$,

d je průměr rotujícího kotouče v mm,

h je tloušťka rotujícího kotouče mm,

α je úhel od středu rotujícího kotouče určující délku tětiny,

L je délka tětiny. [14]

Otěrůvzdornost se vyjádří jako objemový úbytek materiálu v důsledku otěru v milimetrech krychlových. [14]

5.2.20 Stanovení smrštění

Pro stanovení smrštění jsou zkušební tělesa připravena pomocí laboratorní míchačky, zkušební tělesa se zhotoví ihned po namíchání směsi, a to do forem na trámečky, kdy je hmota nanášena ve dvou vrstvách, každá vrstva se rovnoměrně rozetře a potom se zhutní 60 otřesy. Zhotovená forma se poté umístí na vodorovnou podložku a uloží se ve standardním prostředí o teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 ± 5 %. [16]

Po 24 hodinách se tělesa rozměrů 40 x 40 x 160 mm vyjmou z formy a stanoví se délka tělesa „počáteční hodnota“. Po uplynutí 27 dnů \pm 12 hodin se znovu změří délka zkušební tělesa. Tato zkouška se řídí dle normy ČSN EN 12 808 – 4. [16]

Smrštění se vyjádří jako průměr ze tří hodnot vztažených na počáteční délku a uvede se v mm/m. [16]

5.2.21 Stanovení nasákavosti

Tato zkouška je aplikována na zkušební tělesa o rozměru 40 x 40 x 160 mm. Stanovení nasákavosti se řídí normou ČSN EN 12808 – 5.

Uplynutím 21 dní od přípravy zkušebních těles se boční povrchy utěsní tvrditelným silikonovým tmelem, aby byly nepropustné pro vodu. Po 28 dnech se vzorek rozřízne na rozměry těles 40 x 40 x 80 mm a zváží s přesností na 0,1 g. Poté se vloží do mělké nádrže tak, aby jeho vrchní povrch byl dole, ponořený ve vodě do hloubky 5 – 10 mm a povrchy hranolů se vzájemně nedotýkaly. Výška vodní hladiny se udržuje konstantní. [17]

Po uplynutí 30 minut se zkušební vzorky vyjmou z vody, rychle se osuší a ihned zváží. Poté se opět vloží do mělké nádrže a popsany postup se opakuje po 210 minutách. [17]

Nasákavost vzorku se určí na šesti vzorcích v gramech po 30 a 240 minutách a vypočítá se ze vztahu (19): [17]

$$W_{mt} = m_t - m_d \quad (19)$$

kde:

m_d je hmotnost suchého vzorku v g,

m_t je hmotnost vzorku po ponoření v g,

W_{mt} je nasákavost v g. [17]

Po změření a zvážení se vypočte průměr nasákavosti stanovené minimálně na třech vzorcích. [17]

5.2.22 Stanovení spotřeby

Pro zjištění spotřeby stavebního materiálu se nepostupovalo dle normového postupu. Na předem připravené betonové dílce o rozměrech 500 x 500 x 50 mm byly nalepeny keramické dílce o rozměrech 10 x 10 mm. Tyto obkladačové prvky byly od sebe vzdáleny 2,5 a 3 mm pomocí obkladačských křížků. Stanovení spotřeby je udáno v kg/m².

5.3 Alkalicky aktivovaná malta pro vnější či vnitřní omítku

V první etapě byla ověřována možnost a vhodnost použití alkalicky aktivovaných systémů jako vnějších či vnitřních omítek.

Receptury byly připraveny na základě zkušeností a výsledků předchozích výzkumných prací na FAST, VŠB – TUO, a v první fázi lišily jen v množství použité záměsové vody. Základní směs pro alkalicky aktivovanou maltu se kromě záměsové vody skládá z 1350 g křemenného písku, 450 g vysokopecní granulované strusky a aktivátoru (u draselného vodního skla 176 g, u sodného vodního skla 120 g, 89 g metakřemičitanu).

Experiment probíhal tak, že na savý zdící prvek Ytong byly aplikovány jednotlivé připravené směsi. U nanášených vrstev byla sledována v počáteční fázi především jejich zpracovatelnost, kdy požadavek byl, aby směsi nezačaly tuhnout minimálně po dobu 50 minut.

Jelikož alkalicky aktivované systémy se obecně vyznačují rychlým nástupem tuhnutí, a to již po cca 20 minutách, bylo od počátku experimentu zřejmé, že pro další fáze výzkumných prací bude nutné dobu tuhnutí prodloužit použitím vhodného retardéru tuhnutí. Pro prodloužení doby zpracovatelnosti byl z tohoto důvodu testován vliv fosforečnanu sodného a sacharózy.

V této fázi bylo k recepturám na bázi sodného a draselného vodního skla přidáváno postupně 1,4 – 24, 2g fosforečnanu sodného a byl sledován jeho vliv na prodloužení doby tuhnutí. Bylo konstatováno, že fosforečnan sodný je v maximálním dodaném množství schopen prodloužit dobu počátku tuhnutí jen o cca 15 minut, tedy na celkovou dobu počátku tuhnutí cca 35 minut, což je však pro tyto hmoty málo, minimální doba by se měla pohybovat kolem 50 minut.

Proto byla jako další zpomalující přísada použita sacharóza. Tato byla ve formě cukru přidávána ke směsem na bázi sodného a draselného vodního skla v množstvích 20 až 62 g na jednu záměs. Sacharóza byla schopná prodloužit dobu počátku tuhnutí o 25 až 70 minut.

U směsi s metakřemičitanem sodným byl počátek doby tuhnutí i bez použití retardéru tuhnutí stanoven na 50 minut, proto zpomalovače tuhnutí u směsí s tímto aktivátorem nebyly používány ani testovány.

U směsí na bázi sodného a draselného vodního skla bylo ve finále připraveno s každým typem retardéru vždy minimálně 15 různých záměsí, na základě dosažených výsledků byla sacharóza vybrána pro další použití v experimentu jako zpomalovač tuhnutí.

Byla ověřena zrnitost použitého křemenného písku.

V další fázi práce bylo sledováno smrštění a přídržnost k podkladu. Tato část vyloučila jednotlivé nevhodné záměsi a snížila počet omítkových směsí na tři vzorky, které byly v experimentální části dále zkoušeny. Pro možnost porovnání jejich vlastností a konečného vlivu použitého retardéru tuhnutí ve formě sacharózy byly připraveny u obou vodních skel také referenční vzorky bez obsahu sacharózy.

Další etapa výzkumu se týkala stanovení základních fyzikálně-mechanických a trvanlivostních vlastností, které byly v práci dále vyhodnoceny.

Poslední etapou bylo vyhodnocení vlastností alkalicky aktivovaných omítek a grafické vyhodnocení výsledků.

5.4 Vyhodnocení zkoušek alkalicky aktivované malty pro vnější či vnitřní omítky

V této kapitole jsou provedena vyhodnocení naměřených hodnot pro jednotlivé zkoušky alkalicky aktivovaných materiálů. Rovněž jsou zde vyobrazeny ukázky aplikací jednotlivých směsí, které jsou uvedeny na Obr. 1 - 7.

Ukázky aplikací směsí se sodným vodním sklem:



Obr. 1: Aplikace směsi na bázi sodného vodního skla



Obr. 2: Aplikace směsi na bázi sodného vodního skla



Obr. 3: Aplikace směsi na bázi sodného vodního skla s vyznačenými smršťovacími trhlinami

Ukázky aplikací směsí s draselným vodním sklem:



Obr. 4: Aplikace směsi na bázi draselného vodního skla



Obr. 5: Aplikace směsi na bázi draselného vodního skla

Ukázky aplikací směsí s metakřemičitanem:



Obr. 6: Aplikace směsi na bázi metakřemičitanu – vznik smršťovacích trhlin



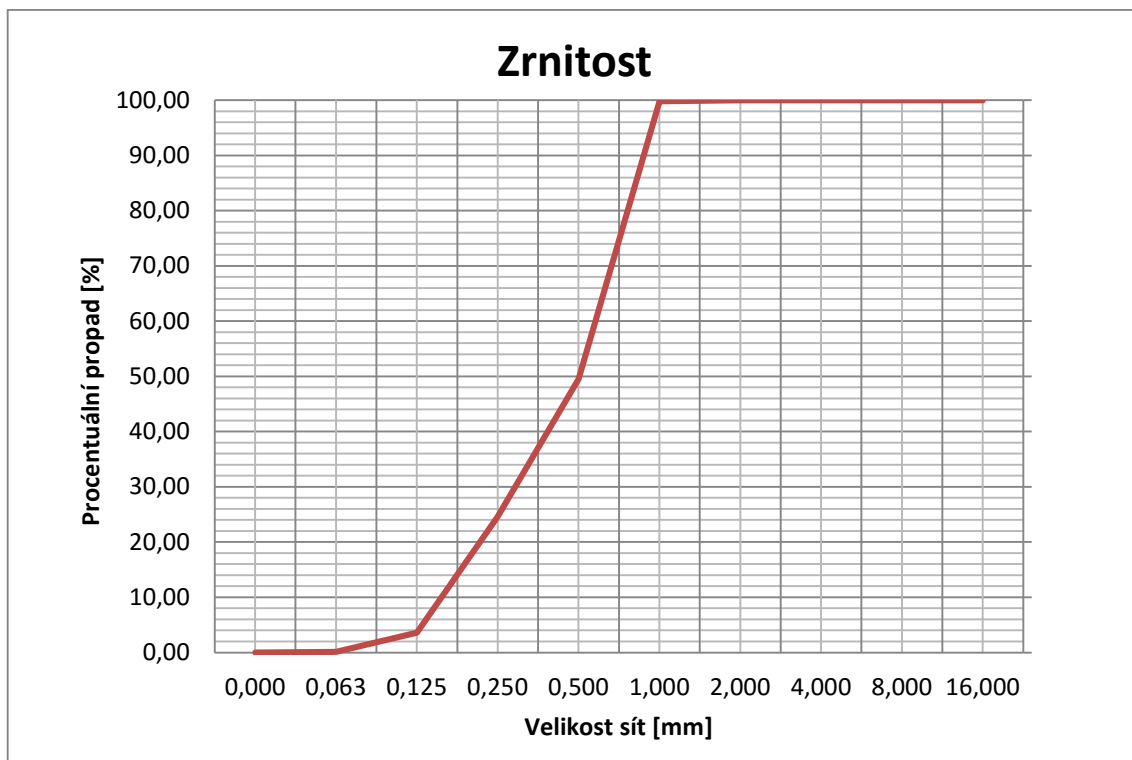
Obr. 7: Aplikace směsi na bázi metakřemičitanu

5.4.1 Stanovení zrnitosti

Stanovení zrnitosti vstupní suroviny křemenného písku bylo provedeno sítovým rozborem. Po ukončení prosévacího cyklu bylo zváženo kamenivo zachycené na jednotlivých sítích a vyjádřil se procentuální propad jednotlivými sítí. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3 a z uvedených hodnot je sestrojena křivka zrnitosti Obr. 8.

Tab. 3: Naměřené hodnoty propadu zkušebními sítí

Síta [mm]	Zůstatek na sítu [g]	Hmotnostní propad [g]	Zůstatek na sítu [%]	Propad [%]
2,000	0,00	1000,00	0,00	100,00
1,000	1,80	998,20	0,18	99,82
0,500	503,20	495,00	50,32	49,50
0,250	249,40	245,60	24,94	24,56
0,125	209,60	36,00	20,96	3,60
0,063	35,00	1,00	3,50	0,10
0,000	1,00	0,00	0,10	0,00
Celkem [g]	1000			



Obr. 8: Křivka zrnitosti

5.4.2 Konzistence čerstvých směsí

Při práci byla konečná složení receptur stanovena na základě požadavku možné aplikovatelnosti. Aplikovatelnost směsi se odvíjí od hodnoty rozlití, která by se měla pohybovat u těchto hmot v rozmezí od 210 mm do 220 mm. Požadovaného rozlití bylo docíleno úpravou množství záměsové vody. Stanovení rozlití v závislosti na použitém množství vody u vybraných směsí je zřejmé viz Tab. 4.

Tab. 4: Množství záměsové vody jednotlivých směsí

Směs	NA-C	NA-B	MK	DVS-C	DVS-B
Množství vody [ml]	155	155	240	140	140
Rozlití 1 [mm]	216	218	210	208	210
Rozlití 2 [mm]	220	214	210	212	210
Celkové rozlití [mm]	218	216	210	210	210

Uvedené výsledky sloužily pro další práci s alkalicky aktivovanými materiály. Výsledné složení připravovaných směsí je uvedeno v tabulce Tab. 5. V uvedené tabulce je zaznamenáno množství potřebné záměsové vody pro jednotlivé směsi na požadované rozlití. Největší množství vody potřebné k požadovanému rozlití bylo u směsi metakřemičitanu, toto činilo 240 ml, naopak nejmenší množství vody bylo dodáno do směsi s draselným vodním sklem, a to pouze 140 ml.

Tab. 5: Výsledné složení připravovaných směsí

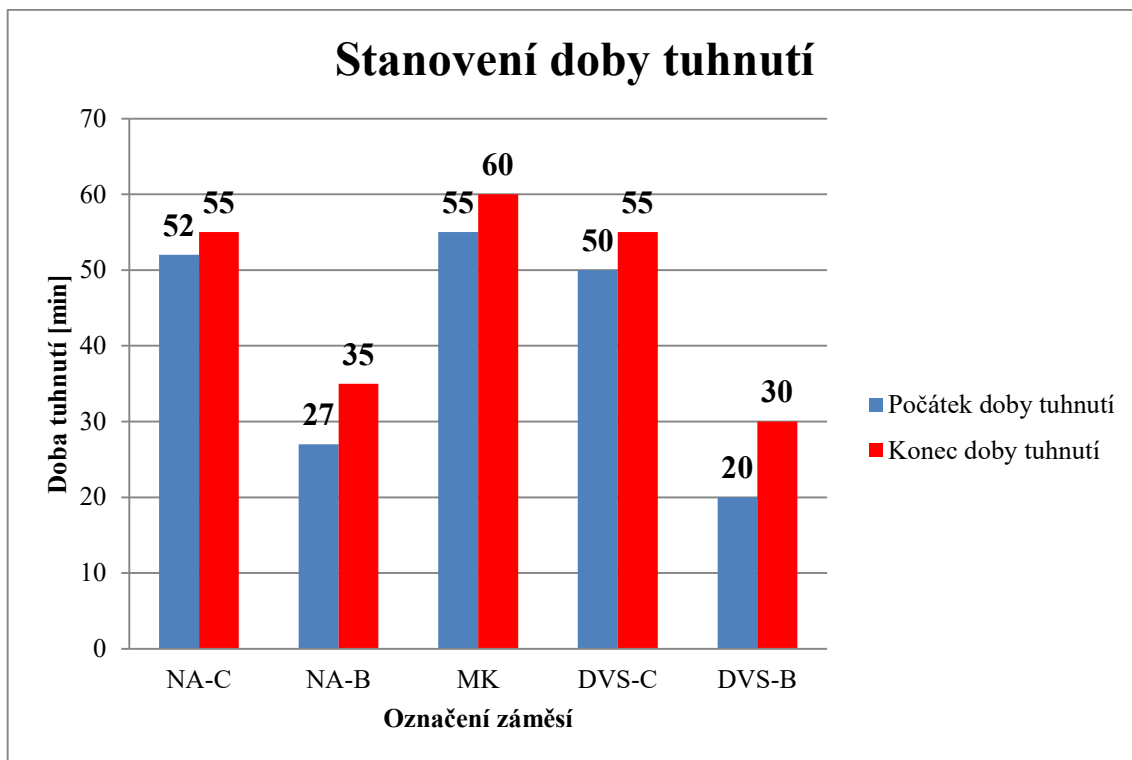
Receptury - alkalicky aktivované systémů					
Směs	NA-C	NA-B	MK	DVS-C	DVS-B
Aktivátor [g]	sodné vodní sklo		metakřemičitan	draselné vodní sklo	
	120	120	89	176	176
Normový písek [g]	1350	1350	1350	1350	1350
Pojivo [g]	450	450	450	450	450
Voda [ml]	155	155	240	140	140
Cukr [g]	20	20	0	42	42

5.4.3 Stanovení dob tuhnutí

U jednotlivých receptur byly stanoveny počátky a konce doby tuhnutí. Stanovení dob tuhnutí se provedlo dle uvedeného normového postupu. Oproti normovému postupu byly tyto hodnoty v experimentu stanovovány na recepturách včetně plniva, jelikož nebylo možno připravit kaši bez plniva s dávkou záměsové vody, adekvátně snížené o množství vody potřebné pro smáčení kameniva. Tato voda je totiž součástí aktivátoru a v rámci experimentu nebylo možno provádět její redukci v roztoku. Toto stanovení tedy sloužilo spíše jen pro orientační zhodnocení rozdílného chování u jednotlivých receptur. Získané výsledky jsou uvedeny v Tab. 6 a grafické vyhodnocení na Obr. 9.

Tab. 6: Počátky a konce doby tuhnutí

Směsi	NA-C	NA-B	MK	DVS-C	DVS-B
Počátek doby tuhnutí [min]	55	30	60	50	20
Konec doby tuhnutí [min]	60	35	65	55	30



Obr. 9: Doby tuhnutí

Z výsledků je zřejmé, že směsi bez přísady cukru vykazovaly kratší doby počátku tuhnutí a také kratší dobu konce tuhnutí, na rozdíl od směsí s přísadou. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že u směsí s přísadou se prodlužuje počátek doby tuhnutí směsí.

Z výsledků je rovněž zřejmé, že konec doby tuhnutí u alkalicky aktivovaných hmot nastává do deseti minut od počátku doby tuhnutí.

5.4.4 Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty

Stanovení doby zpracovatelnosti bylo provedeno dvěma způsoby.

Normovým postupem:

Doba zpracovatelnosti je dána v minutách, kdy se změní hodnota rozlití o 30 mm proti původní hodnotě rozlití, stanovené 10 minut po zamíchání, a to interpolací výsledků před a po této hodnotě. Časy zpracovatelnosti jsou uvedené v Tab. 7.

Tab. 7: Doba zpracovatelnosti – normový postup

Záměs	Zpracovatelnost [min]
NA-C	50
NA-B	30
MK	50
DVS-C	50
DVS-B	20

Uvedená tabulka charakterizuje možnosti zpracovatelnosti daných směsí. Nejvyšší zpracovatelnosti dosahují směsi se sacharózou a metakřemičitanem.

Postupem z praxe v oblasti omítkových systémů:

Jednotlivé směsi byly nanášeny v rozmezí 5 minut na savý podklad zdíciho prvku Ytong. Uvedená tabulka (Tab. 8) charakterizuje dobu, po kterou byly hmoty zpracovatelné. Po uplynutí této doby byly pozorovány změny hustoty a materiál začal měnit svou konzistenci. Z tabulky je zřejmé, že nejdelší zpracovatelnost byla docílena u vzorků se sacharózou a metakřemičitanem. Vyhodnocení doby zpracovatelnosti normovým postupem a postupem z praxe v oblasti omítkových systémů jsou velmi podobné.

Tab. 8: Doba zpracovatelnosti – postup z praxe

Záměs	Zpracovatelnost [min]
NA-C	50
NA-B	20
MK	50
DVS-C	50
DVS-B	20

5.4.5 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě

Stanovení obsahu vzduchu bylo provedeno minimálně na dvou vzorcích jednotlivých směsí. Z tabulky je patrné, že přídavek zpomalovací přísady nemá výrazný vliv na množství vzduchu v čerstvé alkalicky aktivované hmotě. Hodnoty obsahu vzduchu jsou uvedené v Tab. 9.

Tab. 9: Hodnoty obsahu vzduchu

Záměs	Obsah vzduchu [%]
NA-C	4,6
NA-B	4,6
MK	3,2
DVS-C	5,2
DVS-B	5,2

Nejvyšší obsah vzduchu byl zjištěn u vzorku na bázi vodního skla draselného. Naopak nejnižší hodnota obsahu vzduchu byla zaznamenána u vzorku metakřemičitanu.

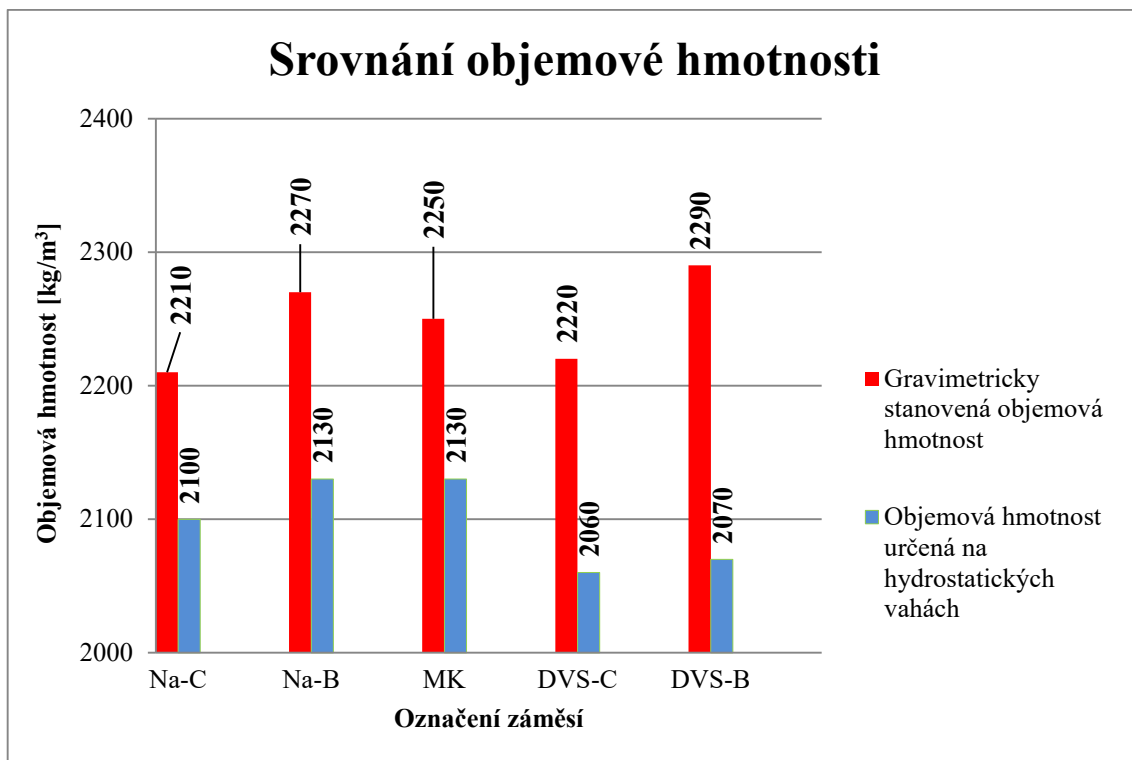
5.4.6 Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty

Objemová hmotnost byla stanovena dvěma postupy. Hodnoty gravimetricky stanovených objemových hmotností jednotlivých vzorků jsou stanovené jako průměrné hodnoty ze všech namíchaných směsí a dále byly vypočteny objemové hmotnosti stanovené na hydrostatických vahách. Objemové hmotnosti jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10: Objemové hmotnosti směsí

Záměs	Gravimetricky stanovená objemová hmotnost [kg/m ³]	Objemová hmotnost určená na hydrostatických vahách [kg/m ³]
Na-C	2210	2100
Na-B	2270	2130
MK	2250	2130
DVS-C	2220	2060
DVS-B	2290	2070

Z tabulky vyplývá, že maximální objemová hmotnost určená gravimetricky je u vzorku směsí s draselným vodním sklem a naopak nejnižších objemových hmotností dosahují vzorky směsí se sodným vodním sklem s přídavkem sacharózy. U objemových hmotností určených pomocí hydrostatických vah dosahují maximálních hodnot vzorky směsí metakřemičitanu a vodního skla sodného bez sacharózy a naopak nejnižších hodnot směsí draselného vodního skla s přísadou sacharózy. V Obr. 10 je pro názornou ukázkou srovnání objemových hmotností.



Obr. 10: Srovnání objemových hmotností

Mezi objemovými hmotnostmi stanovenými pomocí hydrostatických vah a stanovenými gravimetricky lze pozorovat rozdílné hodnoty. Toto je zřejmě zapříčiněno nepravidelným tvarem vzorku u gravimetrické metody, v níž je objem stanoven pouze na základě naměřených hodnot, přičemž celkový objem tělesa se může od vypočteného lišit.

5.4.7 Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost byla ověřena dle normy ČSN 72 2452. Tato zkouška byla provedena na připravených zkušebních tělesech po 28 dnech zrání. Jako porovnávací vzorky byly použity pevnosti těles po 28 dnech zrání.

Aby byl materiál označen jako mrazuvzdorný, nesmí pro daný počet zmrazovacích cyklů vykazovat úbytek pevnosti v tahu za ohybu u zmrazovaných vzorků větší než 25 % oproti pevnostem porovnávacích vzorků. [9]

Výsledky zkoušek mrazuvzdornosti jsou uvedeny v Tab. 11.

Tab. 11: Mrazuvzdornost vzorků po 100 cyklech zkoušky

Vzorek	NA-C	NA-B	MK	DVS-C	DVS-B
Pevnost v tlaku porovnávací [MPa]	33,8	72,6	75,4	21,8	39,1
Pevnost v tlaku po zkoušce [MPa]	31,5	63,8	66,3	33,5	59,6
Součinitel mrazuvzdornosti	0,93	0,88	0,88	1,00	1,00
Pevnost v tahu za ohybu porovnávací [MPa]	6,0	7,2	6,3	3,5	3,6
Pevnost v tahu za ohybu po zkoušce [MPa]	8,6	9,5	7,1	9,1	9,4
Součinitel mrazuvzdornosti	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Hmotnost porovnávací [kg]	0,57	0,58	0,59	0,56	0,57
Hmotnost po zkoušce [kg]	0,57	0,58	0,59	0,56	0,57
Úbytek v [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

U jednotlivých vzorků nebyl prokázán úbytek hmotnosti. Vzorky lze na základě součinitele mrazuvzdornosti dle pevnosti v tahu za ohybu považovat za mrazuvzdorné pro 100 zmrazovacích cyklů. Nejvyšší úbytek pevnosti v tlaku je zaznamenán u vzorků na bázi metakřemičitanu a sodného vodního skla bez přísady. Tento úbytek pevnosti v tlaku činil 12 %.

5.4.8 Stanovení přídržnosti

Přídržnost byla hodnocena na osmi měřících terčích o průměru 50 mm. U všech vzorků došlo k porušení v aplikovaném materiálu. Porušení vzorků bylo na 100 % plochy v naneseném materiálu v tloušťce od 2 až do 4,5 milimetrů. Vrstva nanesená na podklad měla 5 – 6 mm. Naměřené hodnoty pro stanovení přídržnosti jsou uvedeny v Tab. 12.

Dosažené výsledky odpovídají tomu, že je přídržnost větší, než dosažený výsledek zkoušky, jelikož u všech vzorků došlo k porušení v nanesené vrstvě a ne ve styku malta/podklad.

Tab. 12: Stanovení přídržnosti

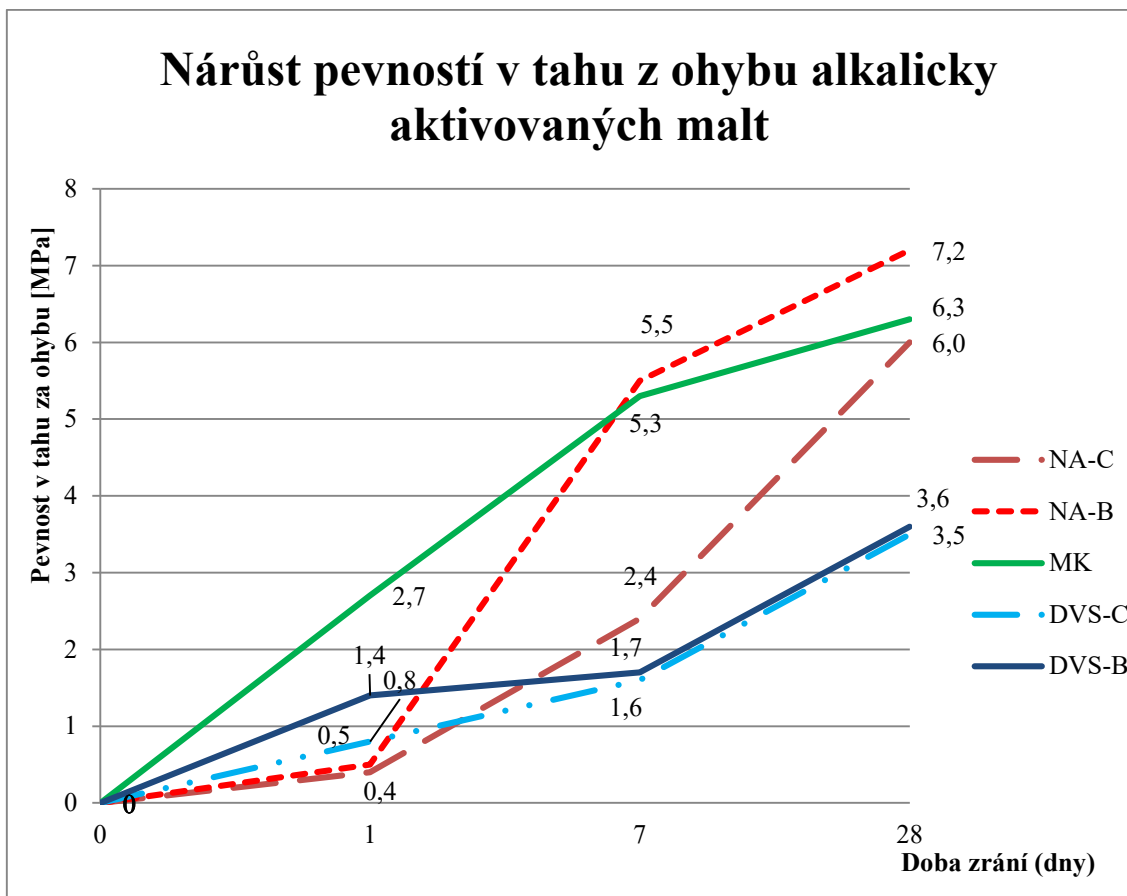
Vzorek	Odtrhová pevnost [MPa]				
	Záměs				
	NA-C	NA-B	MK	DVS-C	DVS-B
1	0,15	0,20	0,35	0,20	0,30
2	0,25	0,30	0,30	0,15	0,20
3	0,05	0,15	0,25	0,10	0,25
4	0,15	0,15	0,25	0,05	0,15
5	0,05	0,30	0,35	0,20	0,20
6	0,15	0,25	0,35	0,15	0,25
7	0,15	0,30	0,40	0,20	0,30
8	0,25	0,15	0,40	0,30	0,30
Minimální hodnota [kN]	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20
Maximální hodnota [kN]	0,30	0,30	0,40	0,30	0,30
Průměrná hodnota [kN]	0,20	0,30	0,40	0,20	0,30

5.4.9 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Směsi alkalicky aktivované omítky byly dále v práci testovány na pevnosti v tahu za ohybu po 1, 7 a 28 dnech zrání. Přípravované vzorky byly po namíchání uloženy do forem, kde setrvaly po dobu 24 hodin. Poté se provedlo odformování směsí a stanovení pevností, případně byla tělesa uložena do vlhkostní skříně a zkoušena po 7 a 28 dnech. Vypočtené průměrné pevnosti jsou uvedeny v Tab. 13.

Tab. 13: Pevnosti v tahu za ohybu po 1,7, a 28 dnech hydratace

Směs	NA-C	NA-B	MK	DVS-C	DVS-B
Výsledky po 1 dni zrání					
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	0,4	0,5	2,7	0,8	1,4
Výsledky po 7 dnech zrání					
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	2,4	5,5	5,3	1,6	1,7
Výsledky po 28 dnech zrání					
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	6,0	7,2	6,3	3,5	3,6



Obr. 11: Nárůst pevností v tahu za ohybu

Vývoj pevností v tahu za ohybu u vzorků alkalicky aktivované omítky je znázorněn na grafu viz Obr. 11. Zde je patrné, že nejvyššího nárůstu po 28 dnech dosahují vzorky sodného vodního skla bez přísady sacharózy s hodnotou pevnosti 7,2 MPa. Nejnižší pevnosti po 28 dnech hydratace vykazují vzorky směsí s draselným vodním sklem s přísadou.

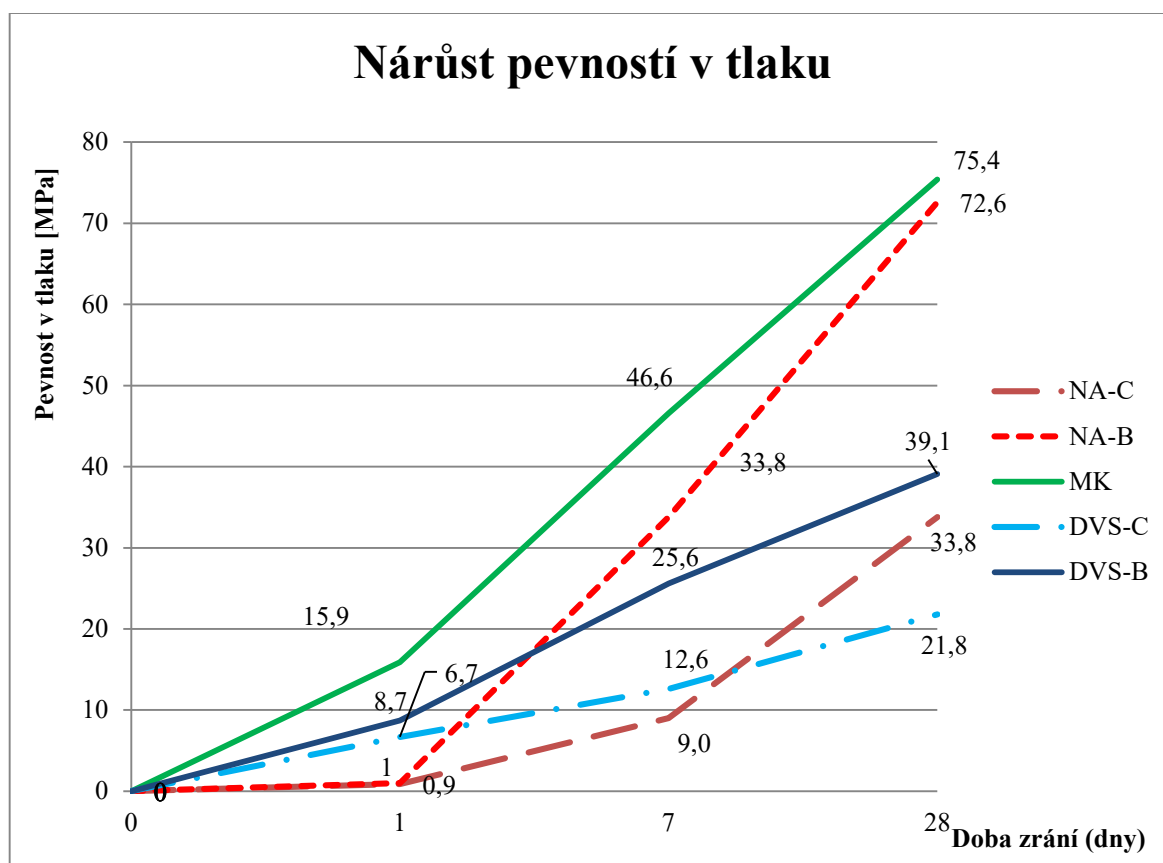
Z těchto výsledků lze usuzovat, že zpomalovač tuhnutí v podobě sacharózy snižuje pevnosti v tahu za ohybu u alkalicky aktivovaných systémů.

5.4.10 Stanovení pevnosti v tlaku

U směsí alkalicky aktivované omítky byly dále v práci stanoveny pevnosti v tlaku po 1, 7 a 28 dnech hydratace. Připravené vzorky byly po namíchání uloženy do forem, kde setrvaly po dobu 24 hodin. Poté se provedlo odformování a byly stanoveny pevnosti po 1 dni hydratace. Další vzorky byly uloženy po odformování do vlhkostní skříně a pevnost se stanovila po 7 a 28 dnech hydratace. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v Tab. 14.

Tab. 14: Pevnosti v tlaku po 1,7, a 28 dnech hydratace

Směs	NA-C	NA-B	MK	DVS-C	DVS-B
Výsledky po 1 dni zrání					
Pevnost v tlaku [MPa]	0,9	1,0	15,9	6,7	8,7
Výsledky po 7 dnech zrání					
Pevnost v tlaku [MPa]	9,0	33,8	46,6	12,6	25,6
Výsledky po 28 dnech zrání					
Pevnost v tlaku [MPa]	33,8	72,6	75,4	21,8	39,1



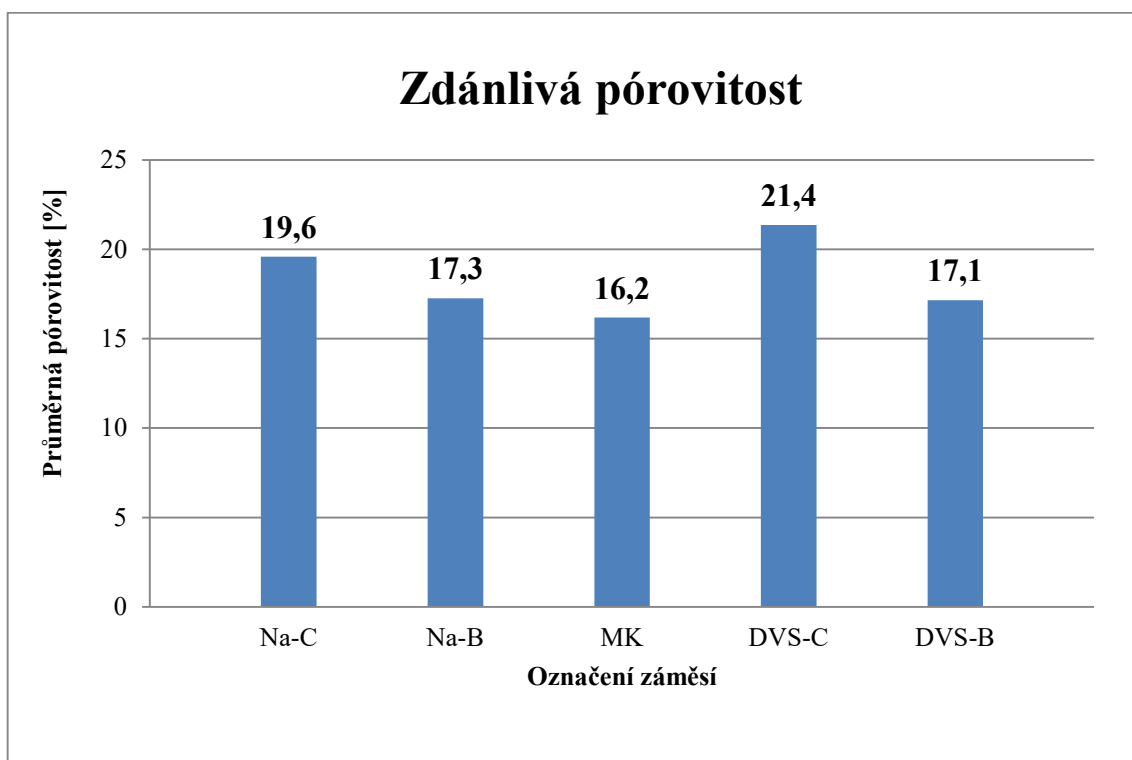
Obr. 12: Nárůst pevností v tlaku

Vývoj pevností v tlaku pro vzorky alkalicky aktivované omítky je graficky znázorněn viz Obr. 12. Zde je patrné, že nejvyššího nárůstu dosahují vzorky metakřemičitanu s hodnotou pevnosti 75,4 MPa. Nejnižších pevností po 28 dnech hydratace vykazují vzorky směsí s draselným vodním sklem se sacharózou, jejichž pevnost dosahuje 21,8 MPa.

I v tomto případě jsou pevnosti směsí se sacharózou nižší než u těles připravených bez tohoto zpomalovače tuhnutí. Je tedy možné konstatovat, že sacharóza sice pozitivně ovlivňuje prodloužení doby počátku tuhnutí, ovšem snižuje konečné pevnosti.

5.4.11 Stanovení zdánlivé pórovitosti

Zdánlivá pórovitost byla stanovena pomocí vody za normálního atmosférického tlaku. Je možné takto měřit pouze póry, do kterých může proniknout voda za normálního atmosférického tlaku. Zkoušení probíhalo na tělesech 40 x 40 x 160 mm.



Obr. 13: Stanovení zdánlivé pórovitosti

Výsledky zdánlivé pórovitosti jsou znázorněny na Obr. 13, zde jsou průměrné hodnoty jednotlivých vzorků. Nejnižší pórovitosti dosahují vzorky na bázi metakřemičitanu.

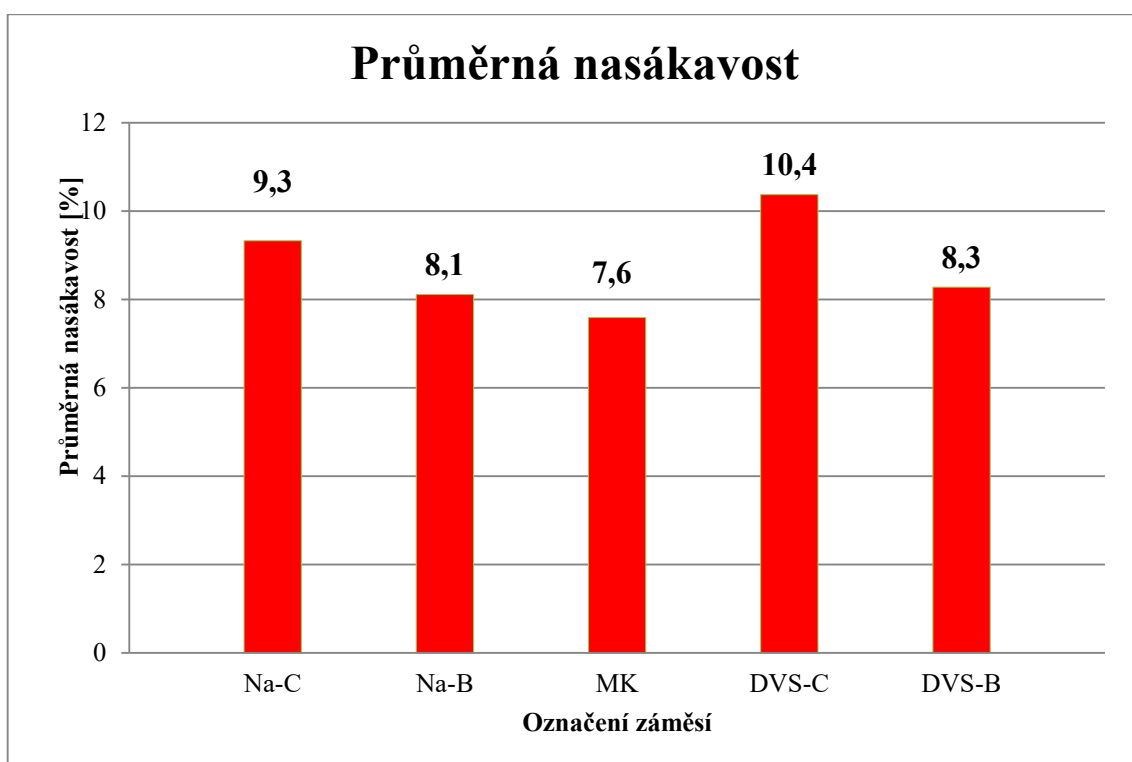
Pórovitost je důležitým stavebním parametrem určujícím trvanlivostní vlastnosti stavebních materiálů. Ovlivňuje významně mrazuvzdornosti směsí.

5.4.12 Stanovení nasákavosti

Nasákavost zjištěná na vzorcích je graficky znázorněna na Obr. 14.

Nejnižší nasákavosti dosahuje vzorek metakřemičitanu, u kterého byla zaznamenána hodnota 7,6 %, naopak nejvyšší nasákavost byla zaznamenána u vzorku draselného vodního skla s přísadou sacharózy.

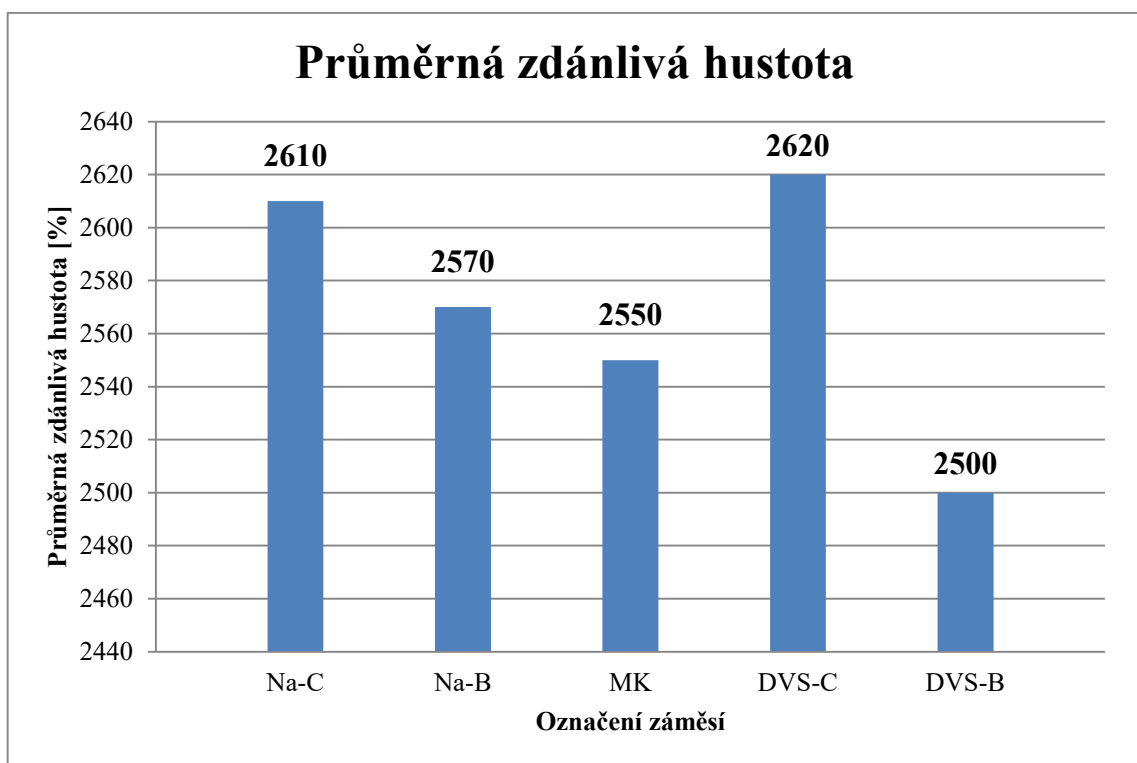
Nasákavost je důležitá vlastnost stavebních materiálů, jelikož společně s pórovitostí výrazně ovlivňuje trvanlivostní vlastnosti. Nižší nasákavost může být zapříčiněna nižším obsahem otevřených pórů.



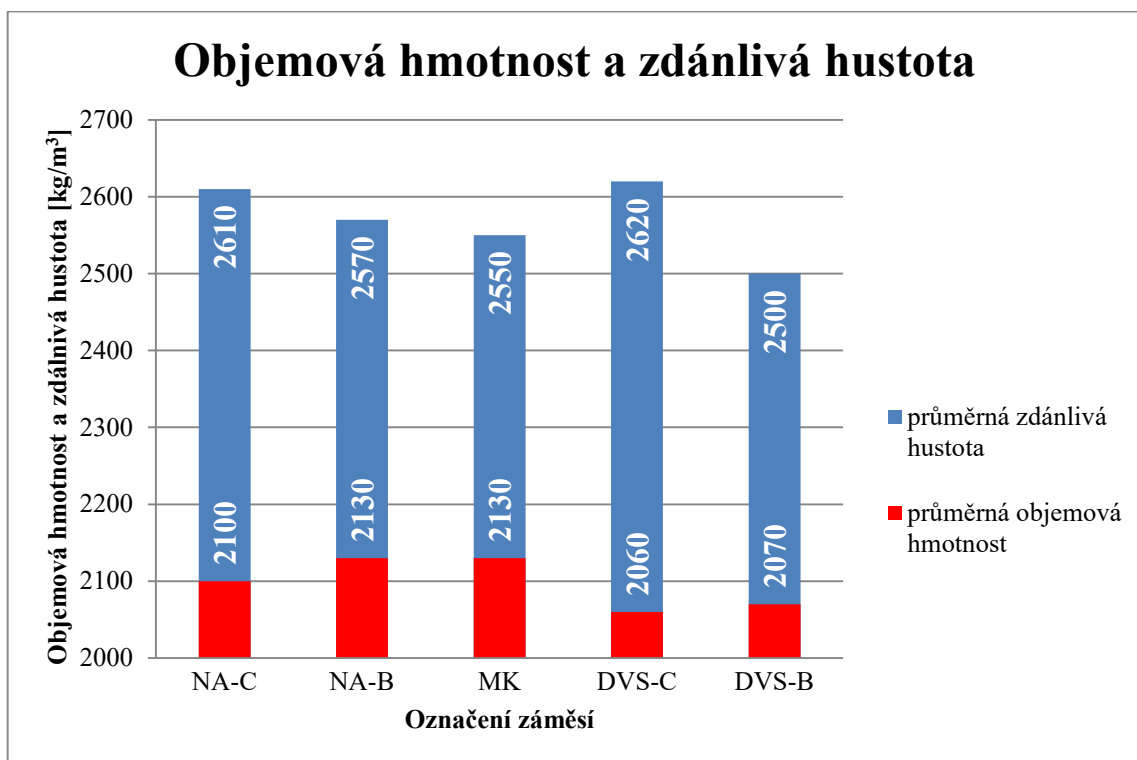
Obr. 14: Stanovení nasákavosti

5.4.13 Stanovení zdánlivé hustoty

Zdánlivá hustota byla stanovena vždy na třech trámečcích a výsledek je aritmetickým průměrem pro jednotlivé záměsí viz Obr. 15. Na Obr. 16 je znázorněno porovnání objemové hmotnosti a zdánlivé hustoty.



Obr. 15: Znázornění zdánlivé hustoty

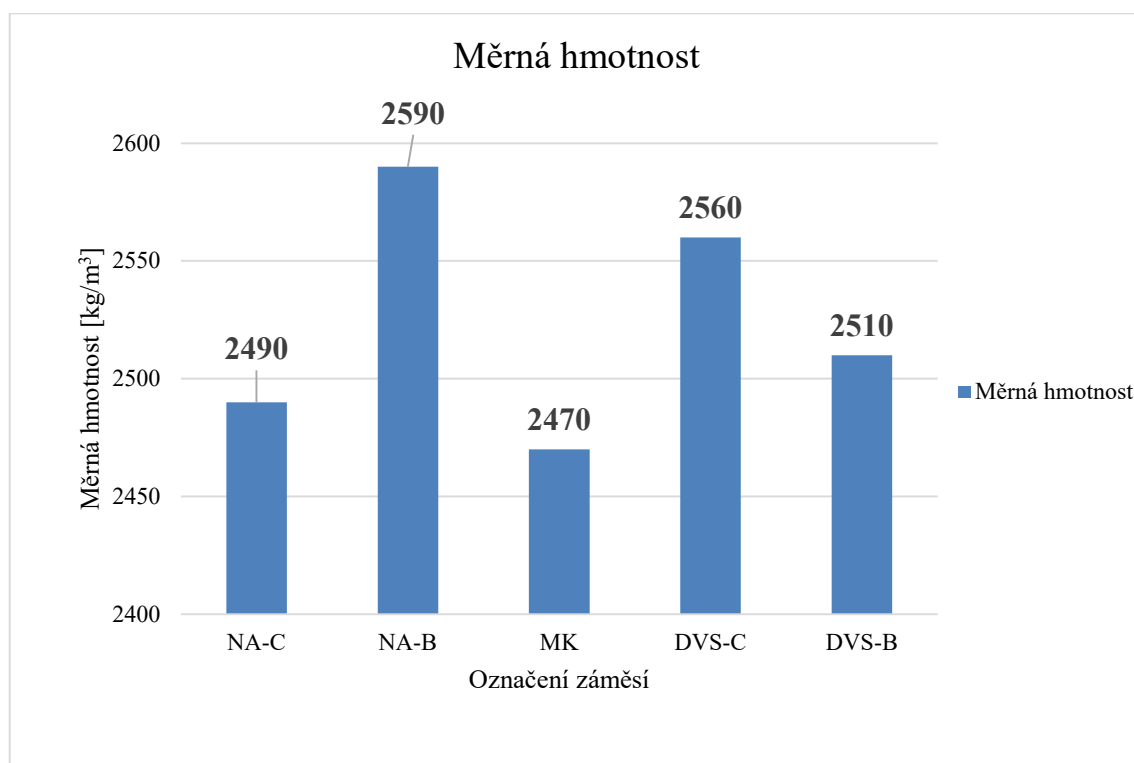


Obr. 16: Porovnání zdánlivé hustoty a objemové hmotnosti

Z uvedených výsledků je zřejmé, že objemové hmotnosti a zdánlivé hustoty jednotlivých vzorků se výrazně liší, z čehož lze vyvodit, že vzorky obsahují uzavřené póry. Největší rozdíl hodnot byl zjištěn u směsi s draselným vodním sklem a sacharózou.

5.4.14 Stanovení měrné hmotnosti

Stanovení měrné hmotnosti bylo provedeno na jednotlivých recepturách pyknometricky. Průměrné hodnoty jsou znázorněny na Obr. 17.



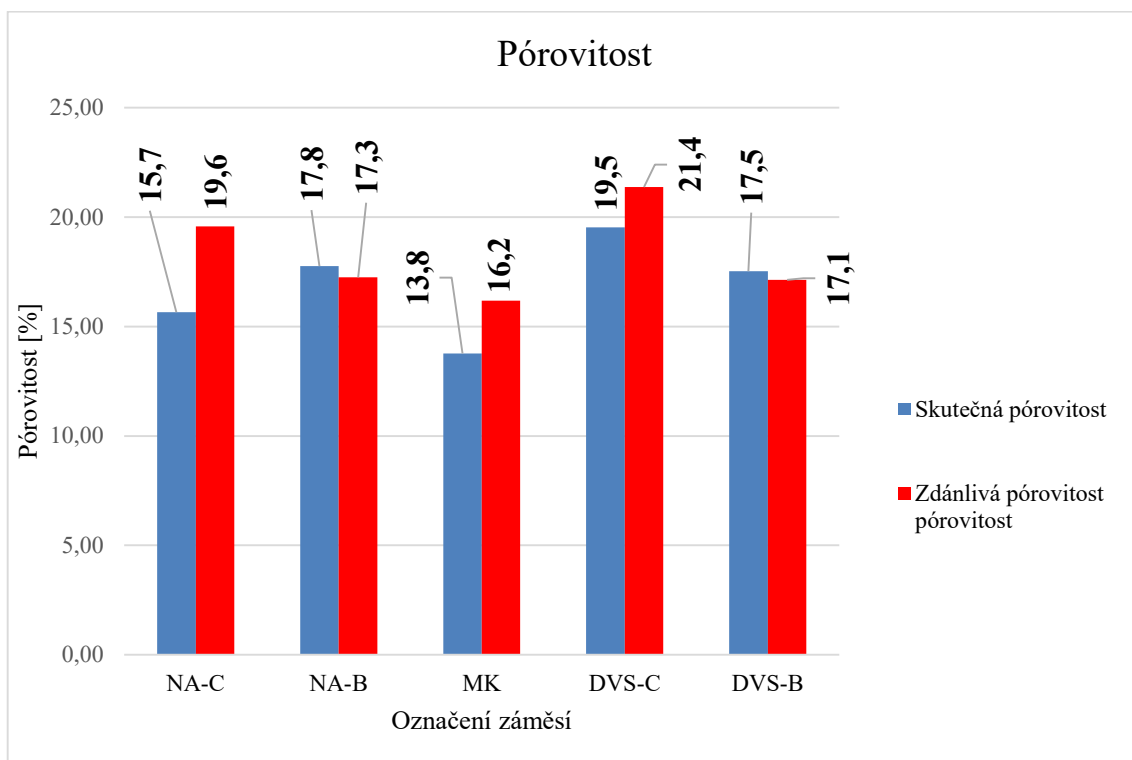
Obr. 17: Znázornění měrné hmotnosti

Z výsledků je patrné, že nejvyšší měrné hmotnosti dosahují vzorky na bázi sodného vodního skla bez sacharózy. Nejnížší hodnoty byly naměřeny u směsi s metakřemičitanem.

5.4.15 Stanovení skutečné pórovitosti

Skutečná pórovitost byla stanovena pomocí objemové hmotnosti stanovené na hydrostatických vahách a měrné hmotnosti. Výsledné hodnoty pórovitosti jsou vyjádřeny v %. Výsledky zkoušky jsou znázorněny na Obr. 18.

Pórovitost zvyšuje nasákavost vzorku vodou a může také nepříznivě ovlivnit pevnosti alkalicky aktivovaných materiálů. Výsledky skutečné a zdánlivé pórovitosti jednotlivých směsí se navzájem příliš neliší. Výsledky ukazují, že nejnížší skutečné pórovitosti dosahují vzorky na bázi metakřemičitanu. Nejvyšší pórovitost byla zjištěna u směsi DVS-C.



Obr. 18: Znázornění pórovitosti

5.5. Alkalicky aktivovaná spárovací hmota

Cílem druhé etapy diplomové práce byla příprava a ověření možnosti použití alkalicky aktivované spárovací hmoty pro aplikace ve stavebnictví. Základní směs pro alkalicky aktivovanou hmotu opět vycházela z ověřených receptur viz alkalicky aktivované omítky (450 g vysokopecní granulované strusky, 176 g draselného vodního skla, 120 g sodného vodního skla, 89 g metakřemičitanu), v této části experimentu se však kromě množství záměsové vody lišilo také množství křemenného písku a jeho zrnitost, byl použit písek frakce 0,1/0,3 mm. Jeho zrnitost byla během prací ověřena.

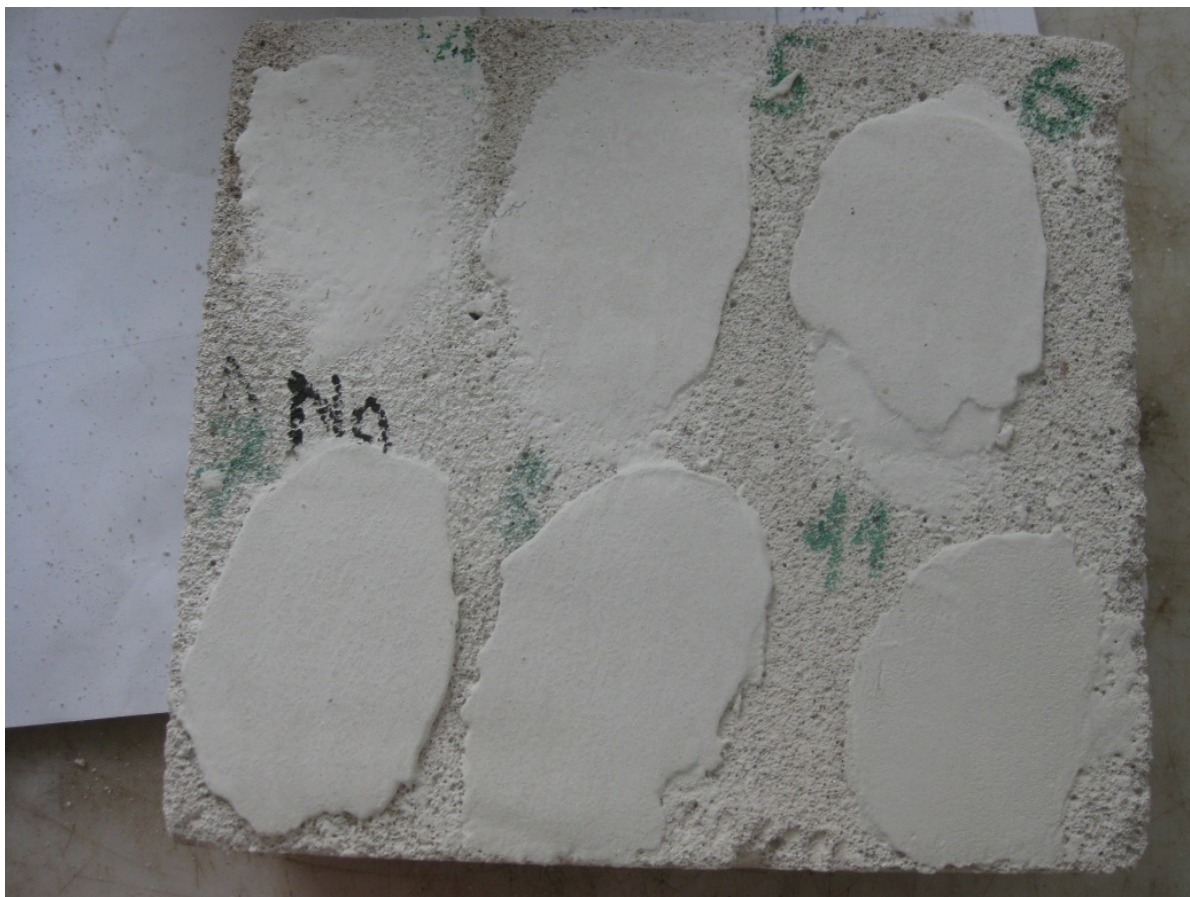
Připravené směsi byly nanášeny nanášeny na savý zdící prvek Ytong. Jednotlivé vrstvy byly nanášeny špachtlí nebo gumovou stěrkou určenou pro spárování obkladů. Po 5 až 10 minutách bylo provedeno uhlazení této směsi molitanovou houbou. V této fázi výzkumu se sledovalo především smrštění, přídržnost k podkladu a různé vzhledové vady. Tato fáze vyloučila směsi s nežádoucími parametry.

V další části byly u vybrané receptury stanoveny základní fyzikálně-mechanické a trvanlivostní vlastnosti připravené spárovací hmoty, tyto byly vyhodnoceny.

5.6 Vyhodnocení vlastností alkalicky aktivované spárovací hmoty

V této kapitole jsou provedena vyhodnocení naměřených hodnot pro jednotlivé zkoušky alkalicky aktivovaných spárovacích hmot. Rovněž jsou zde vyobrazeny ukázky aplikací jednotlivých směsí, které jsou na Obr. 19 - 29.

Ukázky aplikací směsí spárovací hmoty se sodným vodním sklem:



Obr. 19: Nanesení spárovací hmoty na bázi sodného vodního skla



Obr. 20: Vzhled spárovací hmoty na bázi sodného vodního skla



Obr. 21: Vzhled spárovací hmoty na bázi sodného vodního skla

Vzorky se sodným vodním sklem dle nanesených zkušebních vrstev vykazovaly požadované vlastnosti, nedocházelo u nich ke zjevným změnám, smrštění ani odlupování vlivem nízké přídržnosti.

Ukázky aplikací směsí spárovací hmoty s draselným vodním sklem:



Obr. 22: Spárovací hmoty na bázi draselného vodního skla



Obr. 23: Smršťovací trhliny u spárovacích hmot s draselným vodním sklem



Obr. 24: Odloupnutí vrstev u spárovacích hmot s draselným vodním sklem

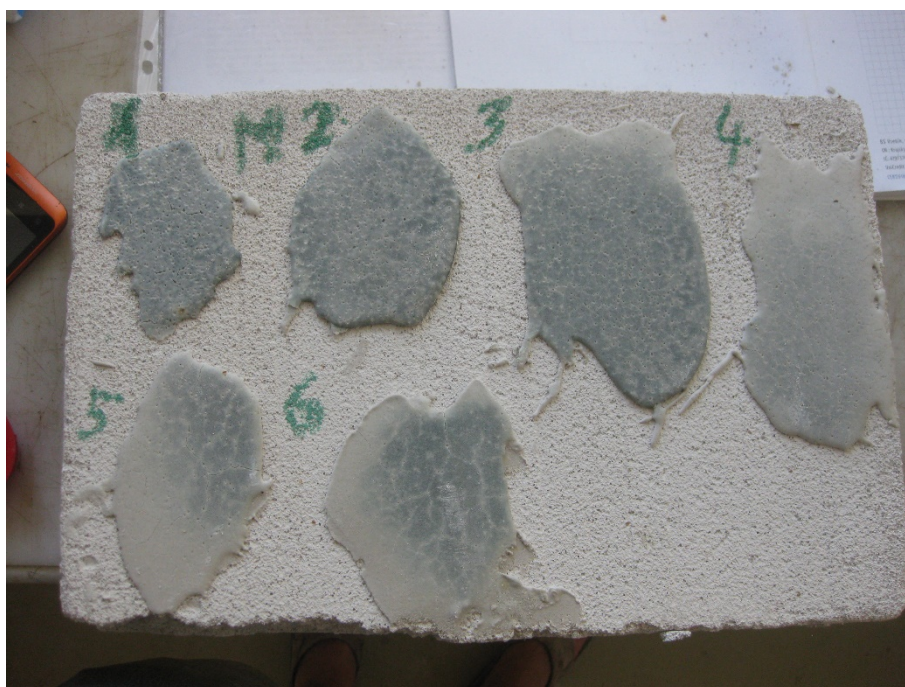
U směsí s draselným vodním sklem bylo zjištěno značné smrštění a rovněž odlupování nanesených vrstev. Proto byla v rámci experimentu upravena granulometrie plniva, přičemž písek byl pomlet v kulovém mlýnu. Následně byly nanášeny zkušební vzorky s tímto jemně mletým plnivem a rovněž upraveným vodním součinitelem. Jak je zřejmé z Obr. 25, změna měla na vlastnosti nanesených vrstev pozitivní vliv, nedocházelo k natolik výraznému výskytu trhlin a odlupování, nicméně bylo od dalšího výzkumu těchto směsí z důvodu složitosti přípravy a nutnosti mletí plniva upuštěno.



Obr. 25: Vzhled spárovacích hmot po úpravě granulometrie

Vzorky s draselným vodním sklem bez úpravy granulometrie písku vykazovaly známky výrazného smrštění, proto další vlastnosti nebyly ověřovány.

Ukázky aplikací směsí spárovací hmoty s metakřemičitanem:



Obr. 26: Vzhled spárovacích hmot na bázi metakřemičitanu



Obr. 27: Vzhled spárovacích hmot na bázi metakřemičitanu



Obr. 28: Odloupnutí vrstev u spárovacích hmot s metakřemičitanem



Obr. 29: Vzhled spárovací hmoty na bázi metakřemičitanu

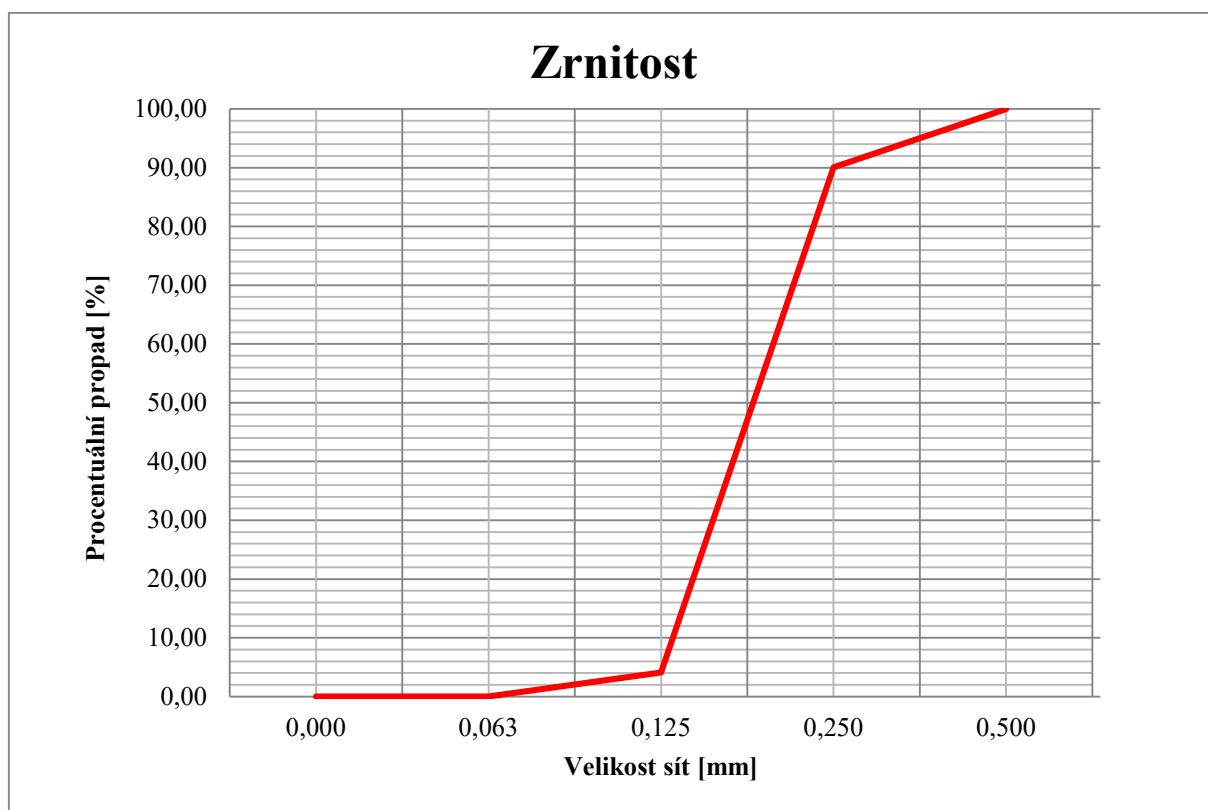
Vzorky nanesených vrstev z metakřemičitanu vykazovaly známky smrštění, odlupování a rovněž velmi dobře viditelné póry, proto další vlastnosti nebyly ověřovány.

5.6.1 Stanovení zrnitosti

Stanovení zrnitosti křemenného písku frakce 0,1 – 0,3 bylo provedeno síťovým rozbořem. Po ukončení prosévacího cyklu bylo zváženo kamenivo zachycené na jednotlivých sítích a vyjádřil se procentuální propad jednotlivými sítí. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 15 a z uvedených hodnot je sestrojena křivka zrnitosti Obr. 30.

Tab. 15: Naměřené hodnoty propadu zkušebními sítí

Síta [mm]	Zůstatek na sítu [g]	Hmotnostní propad [g]	Zůstatek na sítu [%]	Propad [%]
0,500	0,00	500,00	0,00	100,00
0,250	49,70	450,30	9,94	90,06
0,125	429,80	20,50	85,96	4,10
0,063	20,40	0,10	4,08	0,02
0,000	0,10	0,00	0,02	0,00
Celkem [g]	500			



Obr. 30: Křivka zrnitosti křemenného písku pro spárovací hmoty

5.6.2 Základní vlastnosti vybrané spárovací hmoty

V této kapitole jsou uvedeny základní vlastnosti spárovací hmoty aktivované sodným vodním sklem, mezi něž se řadí zejména konzistence, doby tuhnutí, zpracovatelnost a objemové hmotnosti. Výsledné složení spárovací hmoty je uvedeno v Tab. 16.

V tab. 17 jsou uvedeny základní vlastnosti alkalicky aktivované spárovací hmoty na bázi sodného vodního skla. Konzistence této spárovací hmoty je tekutá. Doby tuhnutí se pohybují okolo 30 minut a doby zpracovatelnosti normově a ze zkušeností z praxe se pohybují v mezích od 20 do 25 minut. Objemová hmotnost spárovací hmoty je 2100 - 2120 kg/m³.

Tab. 16: Složení spárovací hmoty

Receptura alkalicky aktivované spárovací hmoty				
Směs	Aktivátor - sodné vodní sklo [g]	Křemenný písek [g] 0,1 – 0,3 mm	Pojivo [g]	Voda [ml]
NA - S	120	400	450	130

Tab. 17: Základní vlastnosti spárovací hmoty

Směs	NA-S
Stanovení konzistence	
Množství vody [ml]	130
Celkové rozlití [mm]	240
Stanovení dob tuhnutí	
Počátek doby tuhnutí [min]	26
Konec doby tuhnutí [min]	30
Stanovení zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty	
Normově [min]	25
Zkušeností z praxe v oblasti spárování [min]	20
Stanovení objemové hmotnosti	
Objemová hmotnost určená gravimetricky [kg/m^3]	2120
Objemová hmotnost určená na hydrostatických vahách [kg/m^3]	2100

5.6.3 Stanovení otěruvzdornosti

Stanovení otěruvzdornosti bylo provedeno na zhotovených krychlich o rozměru 100 x 100 x 100 mm. Otěr každého vzorku se hodnotil na třech místech, vždy na straně uhlazené stěrkou. Změřené hodnoty otěru byly zprůměrovány a výsledek se vyjádřil jako objemový úbytek V.

Hodnota průměrného otěru se rovnala 33 mm. Na základě změřených hodnot průměrného otěru byl stanoven úhel α , poté byla změřena tloušťka rotujícího kotouče a jeho průměr. Pomocí vzorce uvedeného v normě ČSN EN 12808 - 2 byl vyhodnocen objemový úbytek. Objemový úbytek je tedy roven $V = 2113 \text{ mm}^3$. Na Obr. 31 je znázorněn otěr zkušební vzorku.

Průměrný otěr komerčních spárovacích hmot se pohybuje v rozmezí 1000 - 2000 mm^3 .



Obr. 31: Zkouška otěruvzdornosti

5.6.4 Stanovení pevnosti v ohybu a tlaku

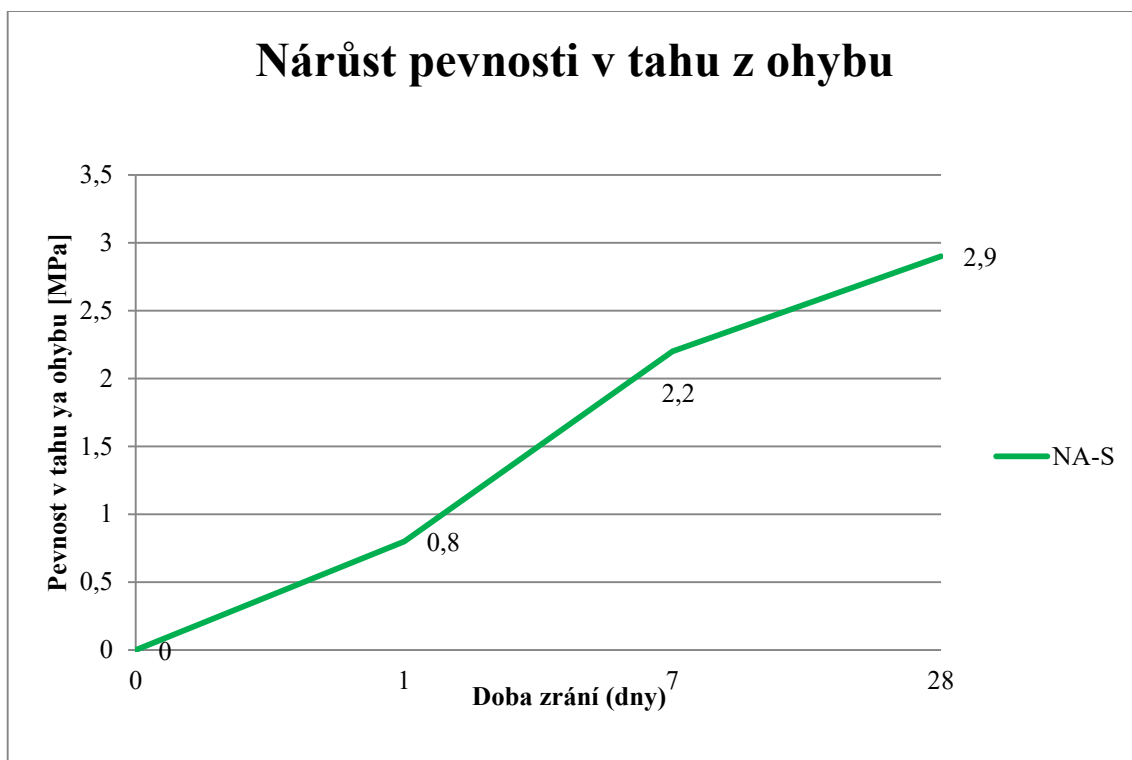
Vzorky hranolů pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku za standardních podmínek byly po vyjmutí z formy kondicionovány ve standardním prostředí o teplotě $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti 50 %. Pevnosti vzorků byly stanoveny po 1, 7 a 28 dnech hydratace. V uvedené Tab. 18 jsou naměřené hodnoty a na Obr. 32 a 33 jsou zobrazené nárůsty těchto pevností.

Tab. 18: Pevnosti spárovací hmoty

Směs	NA-C
Výsledky po 1 dni zrání	
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	0,8
Pevnost v tlaku [MPa]	1,7
Výsledky po 7 dnech zrání	
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	2,2
Pevnost v tlaku [MPa]	41,9
Výsledky po 28 dnech zrání	
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	2,9
Pevnost v tlaku [MPa]	59,2



Obr. 32: Nárůst pevnosti v tlaku alkalicky aktivované spárovací hmoty

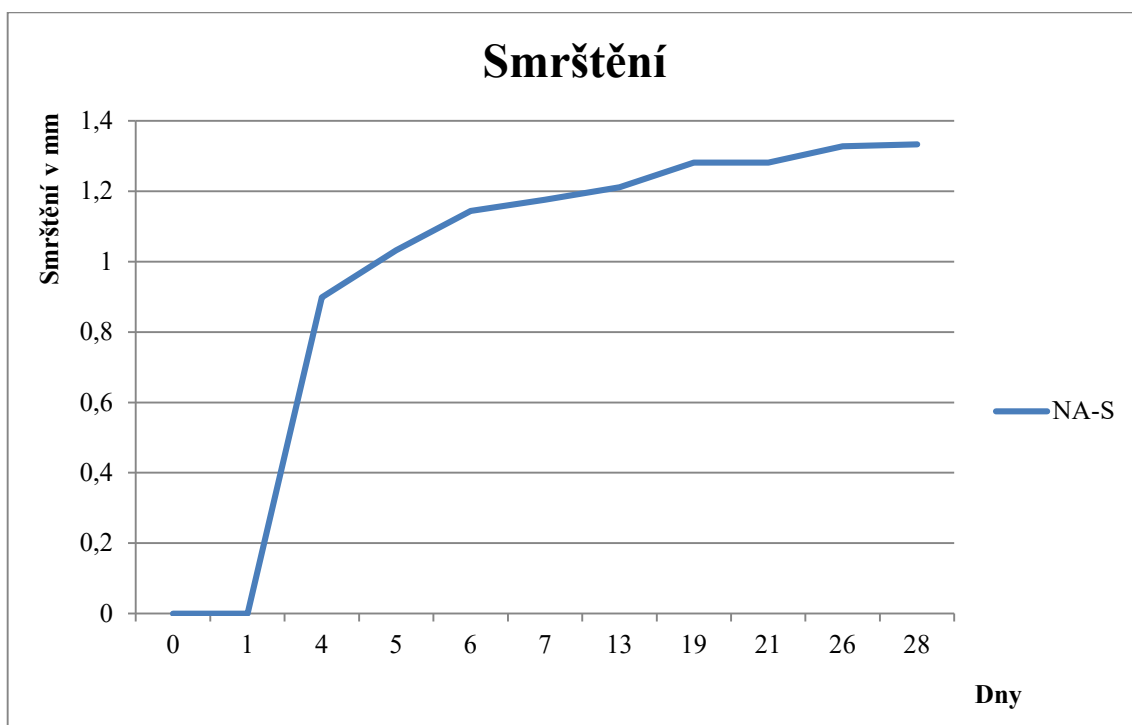


Obr. 33: Nárůst pevnosti v tahu za ohybu alkalicky aktivované spárovací hmoty

Z výsledků je zřejmé, že spárovací hmota po 28 dnech zrání dosahuje pevnosti v tlaku cca 59 MPa a pevnost v tahu za ohybu se blíží 3 MPa.

5.6.5 Stanovení smrštění

Lineární smrštění se stanovilo na základě pravidelného měření vzorků, průměr byl vyjádřen v mm/m. Graf smrštění je uveden na Obr. 34. Měření vzorků na Obr. 35.



Obr. 34: Graf lineárního smrštění

Průměr smrštění vzorků byl roven 1,34 mm na délku 160 mm. Z těchto hodnot bylo stanoveno smrštění v mm/m, které se rovnalo 8,4 mm/m. Prudký nárůst smrštění byl zaznamenán mezi 1 – 4 dnem měření.

Průměrné smrštění u spárovacích hmot se pohybuje okolo hodnoty 1 - 3 mm/m. Smrštění alkalicky aktivované hmoty je tedy vůči komerčním hmotám dosti výrazné a bylo by vhodné hmotu (její složení) dále upravovat.



Obr. 35: Měření smrštění

5.6.6 Stanovení nasákavosti

Nasákavost se stanovila na šesti vzorcích alkalicky aktivované spárovací hmoty po 30 a 240 minutách. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 19 a byly zaznamenány s přesností 0,1 g.

Tab. 19: Stanovení nasákavosti

Nasákavost	Váha suchého vzorku [g]	Váha nasáklého vzorku [g]			
		po 30 minutách	Nasákavost [g]	po 240 minutách	Nasákavost [g]
1	238,0	246,2	8,2	252,0	14,0
2	273,8	282,4	8,6	289,4	15,6
3	251,6	260,4	8,8	266,8	15,2
4	266,2	275,8	9,6	282,2	16,0
5	255,2	263,0	7,8	268,0	12,8
6	273,2	280,8	7,6	286,9	13,7
Průměr nasákavosti			8,4		14,6

Z výsledků je patrné, že vzorky po 30 minutách mají průměrnou nasákavost ve vodě 8,4 g a po 240 minutách 14,6 g.

5.6.7 Stanovení spotřeby

Pro stanovení spotřeby byly připraveny betonové dílce o rozměru 500 x 500 x 50 mm. Na tyto betonové desky byla provedena penetrace a po zaschnutí penetrace se provedlo lepení keramické dlažby. Lepení keramické dlažby proběhlo nanesením lepidla ocelovými hladítkem na betonový dílec a poté se nanesená vrstva stáhla v úhlu 45 ° hřebenovým hladítkem. Keramický obklad před každým uložením na betonový dílec byl potáhnut lepidlem, aby byla zajištěna dostatečná přídržnost. Stanovení spotřeby bylo provedeno zaspárováním předem připravených nalepených keramických dílců o rozměru 15 x 15 mm a šířky spáry 2,5 a 3 mm a hloubky 6,5 mm. Po zaspárování bylo odváženo spotřebované množství spárovací hmoty.

Výsledky spotřeby jsou uvedeny v kg/m² a zaznamenány v Tab. 20. Na Obr. 36 je vidět vzhled spárovací hmoty v praxi. Kladení obkladů a vzhled dílců na Obr. 37 – 39.

Tab. 20: Tabulka spotřeby spárovací hmoty

Rozměr obkladů [cm]	Šířka spár [mm]	Výška spáry [mm]	Spotřeba [kg/m ²]
obklad 15 x 15	2,5	7	0,60
obklad 15 x 15	3	7	0,65



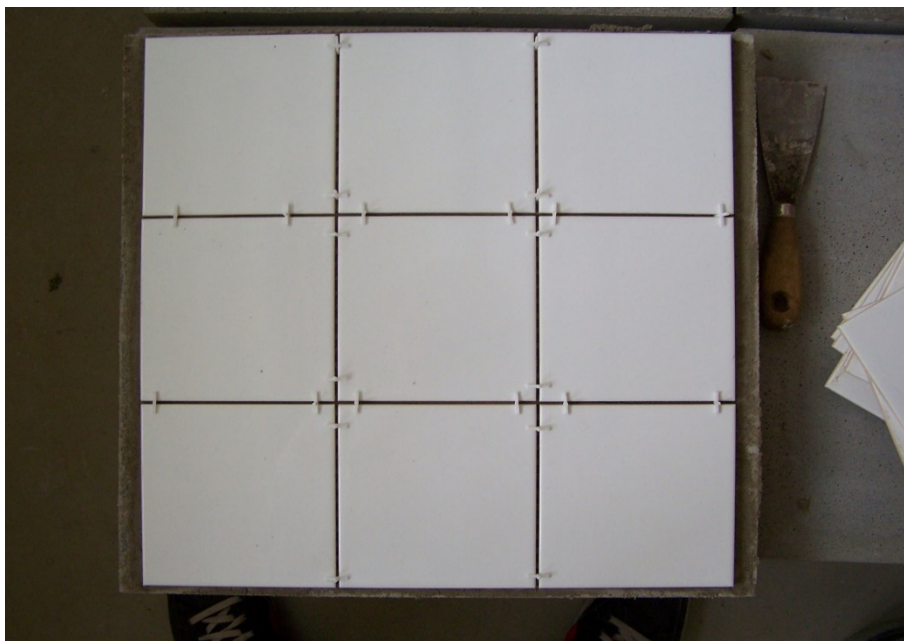
Obr. 36: Vzhled spárovací hmoty v praxi



Obr. 37: Kladení obkladů



Obr. 38: Přichystané dílce pro stanovení spotřeby



Obr. 39: Vzhled stavebního dílce

5.6.8 Stanovení mrazuvzdornosti

Mrazuvzdornost byla ověřena dle normy ČSN 72 2452. Tato zkouška byla provedena na připravených zkušebních tělesech po 28 dnech zrání. Jako porovnávací vzorky byly použity pevnosti těles po 28 dnech zrání.

Výsledky zkoušky mrazuvzdornosti jsou uvedeny v Tab. 21. Zkoušené vzorky obsahovaly minimální trhliny.

Vzorky po 25 cyklech zmrazování a rozmrazování dosahují hodnot pevnosti v tlaku 61,2 MPa a po zkoušce pevnosti v ohybu hodnoty 2,9 MPa.

Tab. 21: Vyhodnocení mrazuvzdornosti spárovací hmoty

Vzorek	NA-S
Pevnost v tlaku porovnávací [MPa]	59,2
Pevnost v tlaku po zkoušce [MPa]	61,2
Součinitel mrazuvzdornosti	1,00
Pevnost v tahu za ohybu porovnávací [MPa]	2,9
Pevnost v tahu za ohybu po zkoušce [MPa]	2,9
Součinitel mrazuvzdornosti	1,00
Hmotnost porovnávací [kg]	0,542
Hmotnost po zkoušce [kg]	0,541
Úbytek v [%]	0,18

6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo ověření vybraných vlastností jemnozrnné alkalicky aktivované hmoty na bázi velmi jemně mleté granulované vysokopecní strusky a na základě zjištěných vlastností zhodnocení možnosti jejího použití pro výrobu omítek, spárovacích hmot a případných dalších aplikací.

V první etapě byla ověřována vhodnost použití alkalicky aktivovaných systémů jako vnějších či vnitřních omítek.

Z důvodu oddálení počátku tuhnutí byl u omítkových směsí testován vliv fosforečnanu sodného a sacharózy, jako vhodná přísada byla vyhodnocena sacharóza, která dokázala počátek tuhnutí prodloužit až o 70 minut. Sacharóza byla používána u směsí se sodným a draselným vodním sklem. Pro možné hodnocení vlivu sacharózy na konečné vlastnosti byly v této práci stanoveny vlastnosti i kompozitů na bázi vodních skel bez použití retardérů. U směsi s metakřemičitanem byla doba počátku tuhnutí dostatečná, proto u této směsi retardér tuhnutí nebyl použit.

U nanášených vrstev byla sledována zpracovatelnost, požadavek byl, aby směsi byly zpracovatelné minimálně po dobu 50 minut. Rovněž bylo sledováno smrštění a přídržnost k podkladu. Tato část vyloučila nevhodné záměsi a snížila počet zkoušených omítkových směsí. Další etapa výzkumu se týkala stanovení základních fyzikálně-mechanických a trvanlivostních vlastností, které byly následně vyhodnoceny.

Ve druhé etapě práce byly ověřovány možnosti použití alkalicky aktivovaných systémů jako spárovací hmoty.

Byly ověřovány vlastnosti hmot připravených na bázi vysokopecní granulované strusky aktivované sodným a draselným vodním sklem a metakřemičitanem sodným. V experimentu byl použit křemenný písek frakce 0,1 až 0,3 mm. V experimentu byly nejprve opět sledovány zpracovatelnosti, doby tuhnutí, smrštění a přídržnost. V další části byly u vybrané hmoty stanoveny fyzikálně-mechanické vlastnosti a tyto byly vyhodnoceny.

V následujících podkapitolách je provedeno vyhodnocení zhotovených materiálů. Rovněž je zde zmíněna možnost uplatnění použitých systémů ve stavebnictví.

6.1 Vyhodnocení výsledků alkalicky aktivované omítky

Připravené receptury alkalicky aktivované omítky dosahují následujících výsledků: Aplikovaný materiál se navenek jeví jako klasická omítková směs (štuk), kterou není potřeba jinak dále upravovat molitanovým hladítkem. Finální úprava spočívá v nanesení namíchaného materiálu ocelovým hladítkem a po krátké době, přibližně po 5 minutách, v přetáhnutí nanesené vrstvy ocelovým hladítkem. Takto je vytvořen dokonalý povrch, který se podobá sádrovým, vápenocementovým a cementovým omítkám.

Vzorky obsahují minimální množství vzduchu v čerstvé maltě, mají nízkou pórovitost a nasákavost, jsou mrazuvzdorné, a proto by byly vhodné i do prostředí, v němž by odolávaly nepříznivým vlivům (mrazuvzdornosti).

Mrazuvzdornost materiálu závisí na pórovitosti a nasákavosti vzorků. Důležitým parametrem mrazuvzdornosti je velikost pórů, a to zejména kapilárních (větších než 0,3 mm), které mohou negativně ovlivnit výsledek zkoušky. [45] Pokles součinitele mrazuvzdornosti u vzorků NA-B a MK v rámci stanovených pevností v tlaku je možné vysvětlit tím, že uvedené vzorky obsahují právě tyto nebezpečné póry.

V rámci experimentu byl prokázán pozitivní vliv sacharózy na oddálení počátku tuhnutí a zároveň její negativní dopad na konečné pevnosti připravených vzorků. Nejvýraznější pokles byl pozorován u směsi NA-C, kdy se hodnota pevnosti v tlaku snížila o více než 50%. Tento pokles pevnosti však u zamýšleného použití hmot nepředstavuje problém, jelikož pevnost obdobných hmot se běžně pohybuje okolo 5 MPa. V konečném důsledku se nadprůměrně vysoké pevnosti těchto kompozitů staly hlavní příčinou toho, že byly vyhodnoceny jako nevhodné pro jejich původně zamýšlené použití ve formě omítek. Vzhledem k vysokým pevnostem totiž nelze tyto systémy používat jako omítky pro vnitřní a vnější použití, neboť dosahují vysokých pevností a po čase by mohlo dojít k odloupení vrstvy od podkladu, platí totiž zásada nižší pevnosti směrem k povrchu omítky. V rámci dalších výzkumů by bylo vhodné aplikovat tyto směsi na různé stavební materiály a sledovat jejich dlouhodobé chování, ideálně v průběhu několika let. Další výzkum by se mohl zaměřit na pochůznost aplikovaných vrstev, neboť připravené malty jsou rychle tuhnoucí.

Alkalicky aktivované materiály by se z mého pohledu daly využít například jako opravné hmoty, reprofilační malty, samonivelační hmoty, soklové omítky nebo také jako malty pro spárování kamenného obkladu viz Obr. 40 a také tam, kde je řádově vyšší pevnost podkladu

(betonové konstrukce). Zhotovené kompozity totiž mají vlastnosti jako výše uvedené stavební hmoty, v oblasti pevnosti v tlaku dosahují i lepších parametrů. Důležitým aspektem hodnocení je rovněž přídržnost k podkladu, která se průměrně pohybovala v rozmezí hodnot $0,2 - 0,4 \text{ N/mm}^2$, pevnost v tahu výše uvedených materiálů je podobná.

Pro praktické využití ve stavebním průmyslu je nutný další výzkum těchto materiálů, dle mého názoru však mají značný potenciál a jeho využití je žádoucí.



Obr. 40: Malta pro spárování kamenného obkladu

6.2 Vyhodnocení výsledků alkalicky aktivované spárovací hmoty

Z připravených receptur se nejvíce osvědčily vzorky na bázi sodného vodního skla. U těchto vzorků nebyl pozorován žádný negativní vliv při nanášení na savý zdící prvek, jako tomu bylo u ostatních vzorků, kdy vzorky na bázi draselného vodního skla a metakřemičitanu vykazovaly smršťovací trhliny a také bylo pozorováno odlupování vrstev nanesené směsi.

Vlastnosti alkalicky aktivované spárovací hmoty jsou srovnatelné s vlastnostmi komerčně prodávaných spárovacích hmot. Mají však vyšší nasákavost a smrštění. Nasákavost alkalicky aktivovaných spárovacích hmot by se dala eliminovat použitím hydrofobizačních prostředků. Smrštění, které dosahovalo hodnoty 8,4 mm/m by bylo možno eliminovat další úpravou receptury, zejména snížením vodního součinitele za použití plastifikátoru, či úpravou množství a zrnitosti plniva.

Pro praktické použití ve stavebním průmyslu je nutný další výzkum těchto materiálů. Vzhledem k tomu, že barva alkalicky aktivované spárovací hmoty je bílá, vidím potenciál této hmoty v možnosti jejího barvení dle požadavku zákazníka použitím barevných pigmentů.

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucí diplomové práce, Ing. Janě Boháčové, za konzultace, cenné rady a pomoc při práci. Poté bych chtěl poděkovat Laboratoři stavebních hmot, FAST, VŠB-TUO za pomoc při zpracování experimentální části práce.

8. Literatura

- [1] BLAHA, M. *Omítky: druhy, provádění, opravy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2004, 97 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-0898-1.
- [2] BOHÁČOVÁ, J. *Příprava a ověření vlastností geopolymérů na bázi metakaolínu a dalšího pojiva*. Ostrava, 2009. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [3] ČSN 72 2452. *Zkouška mrazuvzdornosti malty*. Praha: Český normalizační institut, 1970.
- [4] ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [5] ČSN EN 1015-1. *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 1: Stanovení zrnitosti (sítovým rozbořem)*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [6] ČSN EN 1015-3. *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [7] ČSN EN 1015-7. *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [8] ČSN EN 1015-9. *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 9: Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty*. Český normalizační institut, 2000.
- [9] ČSN EN 1015-10. *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty*. Český normalizační institut, 2000.
- [10] ČSN EN 1015-11. *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [11] ČSN EN 1015-12. *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [12] ČSN EN 196-1. *Metody zkoušení cementu: Část 1: Stanovení pevnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [13] ČSN EN 196-3 + A1. *Metody zkoušení cementu: stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [14] ČSN EN 2808-2. *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky: Část 2: Stanovení otěruvzdornosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [15] ČSN EN 2808-3. *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky: Část 3: Stanovení pevnosti v ohybu a v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [16] ČSN EN 2808-4. *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky: Část 4: Stanovení smrštění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [17] ČSN EN 2808-5. *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky: Část 5: Stanovení nasákavosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [18] DAVIDOVITS, J. *Second International Conference Géopolymère'99. June 30 to July 2, 1999*. 1. Èd. Saint-Quentin: Institut Géopolymère, 1999, 368 s. ISBN 2-902933-14-2.
- [19] GALVÁNKOVÁ, L. *Možnosti využití vedlejších energetických produktů jako surovin pro hydrotermální reakce*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [20] HANUŠ, V. a kolektiv: *Vliv současných chemických příměsí a přísad na výsledné vlastnosti betonu* [online]. Fond rozvoje vysokých škol, 2012 [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: http://concrete.fsv.cvut.cz/~vrba/Publikace/FRVS_2012_prisady_primesy.pdf
- [21] HANYKÝŘ, V., KUTZENDÖRFER, J. *Technologie keramiky*. 1. vyd. Praha: Silikátový svaz, 2008.

- [22] INDRA, I. *Kompozitní materiály na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky s přidavkem elektrárenských popílků*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010.
- [23] JANOUŠEK, P. *Vývoj kompozitů na bázi anorganických pojiv určených pro extrémní aplikace*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [24] JELÍNEK, P. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí: (chemie slévárenských pojiv)*. [Ostrava: P. Jelínek], 2004, 241 s. ISBN 80-239-2188-6.
- [25] JUSTA, E. *Obklady a dlažby*. 1. vyd. Brno: ERA, 2004, 159 s. Bydlíme. ISBN 80-86517-85-3.
- [26] KAMENÍČEK, J., a PRÁŠILOVÁ J. *Výroba uhličitanu sodného: text pro učitele*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013.
- [27] KAMENÍČEK, J. *Anorganická chemie*. 4. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 316 s. ISBN 978-80-244-2387-6.
- [28] KHESTL, F. VŠB - TUO. *Zkoušení stavebních hmot a výrobků: Keramika* [online]. [cit. 2015-10-25]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~khe0007>
- [29] KIZLINK, J. *Odpady: sběr, zpracování, využití, zneškodnění, legislativa*. 3., upr. a rozš. vyd., V Akademickém nakl. CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014, 483 s. ISBN 978-80-7204-884-7.
- [30] KOHOUT, J., TOBEK A., a BARTÁK, K. (ed.). *Zednictví: tradice z pohledu dneška*. 8., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 1998, 221 s. Stavitel. ISBN 80-7169-653-6.
- [31] Kolektiv autorů. *Současný stav výzkumu v oblasti geopolymérů*. Praha: Česká rozvojová agentura o.p.s., 2005.
- [32] KOPLÍK, J. *Inhibice nebezpečných látek v alumináto-silikátových systémech*. Brno, 2012. Doktorská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [33] KURAŠ, M. *Odpady, jejich využití a zneškodňování*. Praha: Český ekologický ústav, 1994, 241 s. ISBN 80-85087-32-4.
- [34] LHOTÁKOVÁ, Z. *Koupelny*. 1. vyd. Brno: ERA, 2002, 131 s. Stavíme. ISBN 80-86517-43-8.

- [35] NESTLE, H. *Moderní stavitelství pro školu i praxi*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2005, 607 s. ISBN 80-86706-11-7.
- [36] OVČAŘÍKOVÁ, H. *Příprava pojiv alkalickou aktivací alternativních surovin*. Ostrava, 2011. Souhrn disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [37] PENDL, K., ŠTROP J., a TIBITANZL, O. *Průručka pro zedníka*. 4., přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 1999, 431 s. ISBN 80-85920-54-9.
- [38] PYTLÍK, P. *Stavební materiály v pozemních stavbách*. Brno: CERM, 1995, 258 s. ISBN 80-85867-14-1.
- [39] PYTLÍK, P. *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. Brno: VUTIUM, 1998, 399 s. Učebnice, sv. 3. ISBN 80-214-1123-6.
- [40] REMY, H. *Anorganická chemie*. I. díl / 2. čes. vyd. Praha: SNTL, 1971. 936 s.
- [41] RŮŽIČKOVÁ, Z., SRB J. a VIDLÁŘ, J. *Druhotné suroviny - nové zdroje průmyslu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0020-3.
- [42] SHI, C., KRIVENKO, P. a ROY, D. *Alkali-activated cements and concretes*. Abingdon: Taylor & Francis, 2006, ix, 376 s. ISBN 0-415-70004-3
- [43] SLIVKA, V. *Průmyslové odpady a možnosti jejich využití jako druhotné suroviny pro sanaci po báňské činnosti*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0110-8.
- [44] SLIVKA, V. *Těžba a úprava silikátových surovin*. Praha: Silikátový svaz, 2002. ISBN 80-903-1130-X.
- [45] SVOBODA, L. *Stavební hmoty*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [46] ŠKVÁRA, F. *Alkalicky aktivované materiály geopolymery* [online]. Ústav skla a keramiky. VŠCHT v Praze, © 2001-2005 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/sil/pojiva/geo_2007.pdf

- [47] ŠKVÁRA, F., SVOBODA, P., DOLEŽAL, J., BITTNAR, Z., ŠMILAUER, V., KOPECKÝ, L. *Geopolymerní beton (také starověký materiál?)* [online]. Praha [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/sil/pojiva/Geopolymerni_beton_starovek.pdf
- [48] ŠRÁMKOVÁ, E. *Příprava historických geopolymérů*. Brno, 2008. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [49] TIŠLEROVÁ, L. *Využití alkalicky aktivovaných betonů u malých mostních objektů integrovaných mostů*. Pardubice, 2012. Disertační práce. Univerzita Pardubice dopravní fakulta Jana Pernera.
- [50] VLČEK, J. *Materiálové využití strusek z metalurgie železa a oceli metodou alkalické aktivace*. Ostrava, 2008. Habilitační práce. MS FMMI Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

9. Seznam obrázků

Obr. 1: Aplikace směsi na bázi sodného vodního skla

Obr. 2: Aplikace směsi na bázi sodného vodního skla

Obr. 3: Aplikace směsi na bázi sodného vodního skla s vyznačenými smršťovacími trhlinami

Obr. 4: Aplikace směsi na bázi draselného vodního skla

Obr. 5: Aplikace směsi na bázi draselného vodního skla

Obr. 6: Aplikace směsi na bázi metakřemičitanu – vznik smršťovacích trhlin

Obr. 7: Aplikace směsi na bázi metakřemičitanu

Obr. 8: Křivka zrnitosti

Obr. 9: Doby tuhnutí

Obr. 10: Srovnání objemových hmotností

Obr. 11: Nárůst pevností v tahu za ohybu

Obr. 12: Nárůst pevností v tlaku

Obr. 13: Stanovení zdánlivé pórovitosti

Obr. 14: Stanovení nasákavosti

Obr. 15: Znázornění zdánlivé hustoty

Obr. 16: Porovnání zdánlivé hustoty a objemové hmotnosti

Obr. 17: Znázornění měrné hmotnosti

Obr. 18: Znázornění pórovitosti

Obr. 19: Nanesení spárovací hmoty na bázi sodného vodního skla

Obr. 20: Vzhled spárovací hmoty na bázi sodného vodního skla

Obr. 21: Vzhled spárovací hmoty na bázi sodného vodního skla

Obr. 22: Spárovací hmoty na bázi draselného vodního skla

- Obr. 23: Smršťovací trhliny u spárovacích hmot s draselným vodním sklem
- Obr. 24: Odloupnutí vrstev u spárovacích hmot s draselným vodním sklem
- Obr. 25: Vzhled spárovacích hmot po úpravě granulometrie
- Obr. 26: Vzhled spárovacích hmot na bázi metakřemičitanu
- Obr. 27: Vzhled spárovacích hmot na bázi metakřemičitanu
- Obr. 28: Odloupnutí vrstev u spárovacích hmot s metakřemičitanem
- Obr. 29: Vzhled spárovací hmoty na bázi metakřemičitanu
- Obr. 30: Křivka zrnitosti křemenného písku pro spárovací hmoty
- Obr. 31: Zkouška otěruvzdornosti
- Obr. 32: Nárůst pevností v tlaku alkalicky aktivované spárovací hmoty
- Obr. 33: Nárůst pevností v tahu za ohybu alkalicky aktivované spárovací hmoty
- Obr. 34: Graf lineárního smrštění
- Obr. 35: Měření smrštění
- Obr. 36: Vzhled spárovací hmoty v praxi
- Obr. 37: Kladení obkladů
- Obr. 38: Přichystané dílce pro stanovení spotřeby
- Obr. 39: Vzhled stavebního dílce
- Obr. 40: Malta pro spárování kamenného obkladu

10. Seznam tabulek

Tab. 1: Třídy malt

Tab. 2: Procentuální zastoupení oxidů ve vysokopecní granulované strusce

Tab. 3: Naměřené hodnoty propadu zkušebními sítí

Tab. 4: Množství záměsové vody jednotlivých směsí

Tab. 5: Výsledné složení připravovaných směsí

Tab. 6: Počátky a konce doby tuhnutí

Tab. 7: Doba zpracovatelnosti – normový postup

Tab. 8: Doba zpracovatelnosti – postup z praxe

Tab. 9: Hodnoty obsahu vzduchu

Tab. 10: Objemové hmotnosti směsí

Tab. 11: Mrazuvzdornost vzorků po 100 cyklech zkoušky

Tab. 12: Stanovení přídržnosti

Tab. 13: Pevnosti v tahu za ohybu po 1,7, a 28 dnech hydratace

Tab. 14: Pevnosti v tlaku po 1,7, a 28 dnech hydratace

Tab. 15: Naměřené hodnoty propadu zkušebními sítí

Tab. 16: Složení spárovací hmoty

Tab. 17: Základní vlastnosti spárovací hmoty

Tab. 18: Pevnosti spárovací hmoty

Tab. 19: Stanovení nasákavosti

Tab. 20: Tabulka spotřeby spárovací hmoty

Tab. 21: Vyhodnocení mrazuvzdornosti spárovací hmoty

11. Seznam příloh

Příloha 1	Technický list vysokopecní granulované strusky
Příloha 2	Technický list sodného vodního skla
Příloha 3	Technický list hydroxidu sodného
Příloha 4	Technický list draselného vodního skla
Příloha 5	Technický list metakřemičitanu
Příloha 6	Technický list fosforečnanu sodného



Struska velmi jemně mletá

Technické parametry:

SMŠ dle PN SMŠ 72 20 90	SMŠ dle XYZ m ² /kg
Typ výrobku, příklad	SMŠ 400
Měrný povrch dle <u>Blaine</u>	$\geq 400 \text{ m}^2/\text{kg}$
	$\geq 4.000 \text{ cm}^2/\text{g}$
Zbytek na síti 45 μm	$< 4 \%$
Index účinnosti po 7 dnech *	$> 50 \%$
Index účinnosti po 28 dnech *	$> 80 \%$
Objemová stálost dle <u>Le Chateliera</u>	$< 10 \text{ mm}$
Obsah chloridů	$\leq 0,1 \%$

* poměr (%) pevnosti v tlaku normalizovaných trámečků z malty připravené se 50 % hmotnosti referenčního cementu a 50 % hmotnosti SMŠ, k pevnosti v tlaku normalizovaných trámečků z malty připravené jen se samotným referenčním cementem dle ČSN EN 196-1.

Chemické vlastnosti:

Struska mletá	<u>m.j.</u>	PN 72 2090	dosahované průměrné skutečnosti
<u>CaO</u>	%	26 – 45	40,0
<u>MgO</u>	%	4 – 15	8,9
<u>SiO₂</u>	%	28 – 45	39,9
<u>Al₂O₃</u>	%	4 – 12	6,9
<u>Fe₂O₃</u>	%	$< 1,5$	0,4
<u>SO₃</u>	%	$\leq 1,5$	0,6
<u>(CaO + MgO) / SiO₂</u>	%	$> 1,0$	1,2

Objednávky, informace: KOTOUC ŠTRAMBERK, spol. s r.o., Lihotín 500, 742 66 Štramberk
tel.: 556 873 582-5; fax.: 556 873 581; e-mail: obchod@kotouc.cz

TECHNICKÁ SPECIFIKACE ZBOŽÍ

Název: **VODNÍ SKLO 36/38**

Charakteristika: vodný roztok křemičitanu sodného

Ostatní názvy: Silikát sodný; křemičitá kyselina, sodná sůl

CAS: 1344-09-8

EINECS: 215-687-4

Vzhled: Čirá nebo slabě zakalená bezbarvá viskózní kapalina alkalické reakce

Specifikace jakosti, parametry:

Parametr	MJ	Hodnota
Molární poměr		3,2 – 3,5
Hustota	kg.m ⁻³	1320 – 1350

Další údaje: Obsah SiO₂ oca 25 – 26 %
Obsah Na₂O oca 7 – 8 %

Pokyny pro skladování: Skladujte na čistém, suchém, dobře větraném místě. Uchovávejte uzavřené. Doporučená skladovací teplota: > 5 °C

Doba expirace: 24 měsíců

Balení: 50 l PE soudy
200 l sudy
1000 l nebo 600 l kontejner
Silniční či železniční cisterna

REACH: Látka byla registrována, registrační číslo: 01-2119448725-31-XXXX.

EURO – Šarm spol. s r. o.

Těšínská 222, 739 34 Šenov, Czech Republic



IČ: 63988186, DIČ: CZ63988186, bankovní spojení: KB Havířov, č. účtu 21507-791/0100

Tel.: +420 597 485 910, fax: +420 596 831 102, datová schránka: 9henxwv, e-mail: eurosarm@eurosarm.cz; www.eurosarm.cz

Společnost je zapsána v obchodním rejstříku u Krajského soudu v Ostravě, oddíl C, vložka 38395

Společnost je držitelem certifikátu QMS dle ISO 9001 a EMS dle ISO 14001

Příloha 3:

Hydroxid sodný		Sodium hydroxide
NaOH	M, 40,00	
CAS: 1310-73-2		
EINECS: 215-185-5		
15760	<p>p.a. / G.R.</p> <p>Obsah / Assay..... min. 98,0%</p> <p>Na₂CO₃ max. 1,5%</p> <p>Cl⁻ max. 0,002%</p> <p>SO₄²⁻ max. 0,0008%</p> <p>SiO₂ max. 0,005%</p> <p>Fe max. 0,001%</p> <p>Těžké kovy / Heavy metals (Ag)..... max. 0,001%</p> <p>N celkový / N total max. 0,0005%</p>	1000 g
15740	<p>čistý / pure</p> <p>Obsah / Assay..... min. 97,0%</p> <p>Na₂CO₃ max. 1,5%</p> <p>Cl⁻ max. 0,008%</p> <p>SO₄²⁻ max. 0,003%</p> <p>SiO₂ max. 0,01%</p> <p>N celkový / N total max. 0,001%</p>	1000 g
Klasifikace podle směrnice 67/548/EHS / Classification according to 67/548/EHS		
<div>  <div> R 35 S (1/2)-26-37/38-45 </div> </div>		
Živý		
Klasifikace podle nařízení 1272/2008/ES / Classification according to 1272/2008/ES		
<div>  <div> H 314, 290 P 280, 310, 305+351+338 Signální slovo: Nebezpečí / Signal word: Danger </div> </div>		
Klasifikace podle ADR/RID / Classification according to ADR/RID		
ADR/RID: 8/ C6/ II UN 1823		

Příloha 4:



Vodní sklo draselné

Chemický název: Vodní sklo draselné

Charakteristika: Vodní sklo draselné je čirá nebo slabě zakalená viskózní kapalina, nebo lehce nažloutlá, neomezeně mísitelná s vodou.

Specifikace:

Parametry	Jednotky	DVS 1,7	DVS 2,5 B	DVS 3,0 A
Obsah K ₂ O	Min. % hm.	26,0 – 26,5	8,7 – 8,9	12
Obsah SiO ₂	Min. % hm.	28,2 – 29	13,7 – 14,4	24
Sušina	Min. % hm.	54,2 – 55,75	22,4 – 23,3	36
Molární poměr SiO ₂ /K ₂ O		1,67 – 1,73	2,4 – 2,6	3,0 – 3,2
Hustota	Min. kg.m ⁻³	1650 – 1670	1180 – 1240	1350
Hustota	°Bé	51 – 53	-	37 – 38
Viskozita	mPa.s	110 – 230	-	25 – 35

Parametry	Jednotky	DVS 3,2 – 3,4	DVS 3,7 A	DVS 3,8 – 4,1
Obsah K ₂ O	Min. % hm.	12,5	8,5	7,3
Obsah SiO ₂	Min. % hm.	27	20,3	19
Sušina	Min. % hm.	39,5	28,8	26,3
Molární poměr SiO ₂ /K ₂ O		3,2 – 3,4	3,65 – 3,75	3,8 – 4,1
Hustota	Min. kg.m ⁻³	Min. 1350	1255	1240
Hustota	°Bé	40	29 – 30	28-29
Viskozita	mPa.s	-	8 – 12	15 – 25

Balení: Balí se do plastových sudů (200 l), volně v železničních cisternách nebo autocisternách, jiné obaly zákazníka od 50 l výše.

Použití: Používá se k výrobě speciálních dezinfekčních a odmašťovacích prostředků, jako náplň do alkalických akumulátorů, jako pojivo do speciálních žáruvzdorných vyzdívek. Pro výrobu fasádních nátěrových hmot na silikátové bázi.

Skladování: Je možno přepravovat a skladovat při teplotách vyšších než 0°C.

Datum aktualizace: 15. 02. 2010

Vodní sklo, a.s. | Praha 1 | Nové Město | Krakovská 1346/15 | PSČ 110 01 | IČ: 279 21 662

pobočka: Bmo | Domych 47 | PSČ 656 16 | tel.: +420 530 530 000 | fax: +420 530 530 002 | e-mail: info@vodnisklo.cz | www.vodnisklo.cz

pobočka: Ústí nad Labem | U Tonasa 172/2 | PSČ 403 31 | tel.: +420 475 245 362 | fax: +420 475 507 164 | e-mail: info@vodnisklo.cz | www.vodnisklo.cz

TECHNICKÁ SPECIFIKACE ZBOŽÍ

Název: **METAKŘEMIČITAN SODNÝ BEZVODÝ**

Ostatní názvy: Metasilikát sodný, disodiumtrioxosilikát

CAS: 6834-92-0

EINECS: 229-912-9

Vzorec: Na_2SiO_3

Vzhled: Bílá krystalická látka

Specifikace jakosti, parametry:

Parametr	MJ	Hodnota
Na_2O^*	%	$50,3 \pm 0,7$
SiO_2^*	%	$46,7 \pm 0,7$
Obsah sušiny*	%	$97,0 \pm 1,5$
Molární poměr	-	0,94 – 0,98
Hmotnostní poměr	-	0,91 – 0,95

Skladování: Skladujte na čistém, suchém, dobře větraném místě. Uchovávejte v těsně uzavřených obalech. Chraňte před mrazem.

Doba expirace: 12 měsíců

Balení: pytle á 25 kg, fixované na paletě
Dóza á 1 kg, bílá

REACH: Látka byla registrována, registrační číslo: 01-2119449811-37-xxxx.

TECHNICKÁ SPECIFIKACE ZBOŽÍ

Název: **FOSFOREČNAN SODNÝ KRYSTALICKÝ**

Ostatní názvy: Trinátrium fosfát, fosforečnan sodný trisodný dodekahydrát, Trisodium phosphate

CAS: 7601-54-9 (bezvodý), 10101-89-0 (dodekahydrát)

EINECS: 231-509-8

Vzorec: $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$

Vzhled: Bezbarvá krystalická látka

Specifikace jakosti, parametry:

Parametr	MJ	Hodnota
Obsah P_2O_5	%	Min. 18,0
Obsah látek ve vodě nerozpustných	%	Max. 0,1
pH (1 % roztok)	%	11,5 – 12,5

Pokyny pro skladování: Skladujte na čistém, suchém, dobře větraném místě. Uchovávejte v těsně uzavřených obalech. Chraňte před vlhkostí. Při delším skladování ve vlhkém prostředí může docházet k zatvrdnutí výrobku v obalech. Po mechanickém rozrušení výrobku nedochází ke změně jeho kvality.

Doba expirace: 24 měsíců

Balení: Pytle 25 kg na paletě
Big-bagy 1000 kg

REACH: Látka byla registrována, registrační číslo: 01-2119489800-32-XXXX.